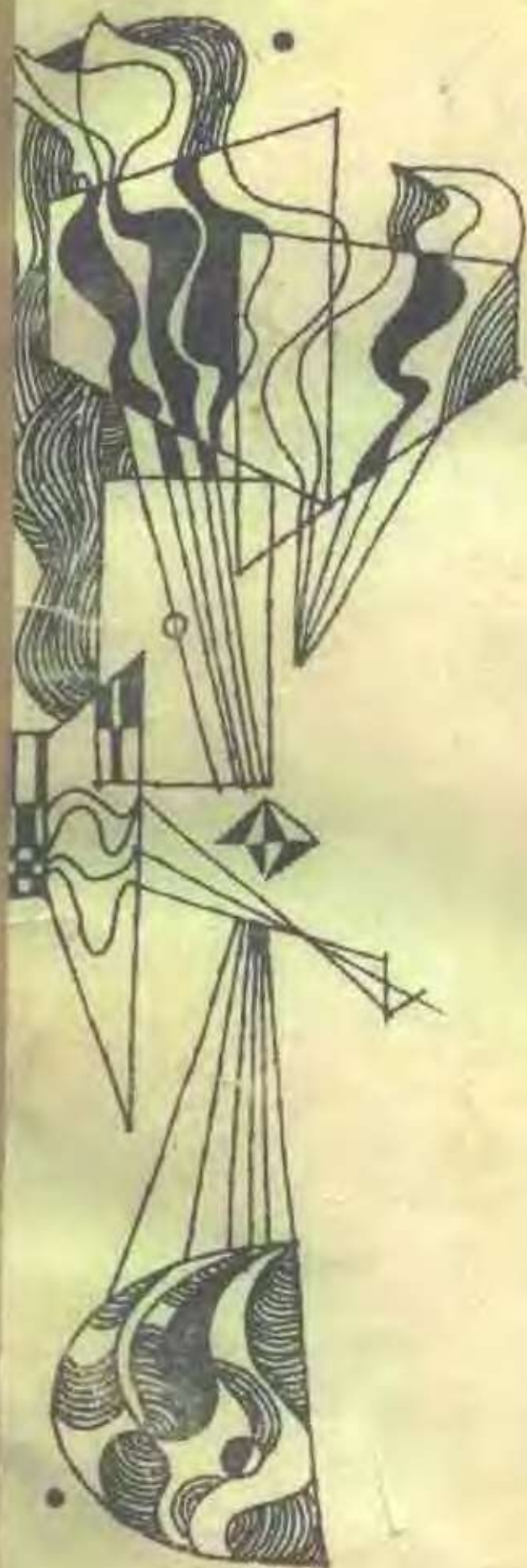




让科学的光芒照亮自己



VISIT...

LANZAROTE
Caliente.COM

让科学的光芒照亮自己

——近代科学为什么没有在中国产生

刘青峰 著

四川人民出版社

一九八三年·成都

责任编辑：木 易

封面设计：戴士和

插图：戴士和

走向未来丛书

让科学的光芒照亮自己

刘青峰著

四川人民出版社出版

(成都盐道街一六号)

四川省新华书店发行

四川新华印刷厂印刷

开本787×960毫米1/32 印张8 插页16 字数113千

1984年1月第一版

1984年1月第一次印刷

印数：1-13,800册

书号：17118·31

定价：1.10元

编者献辞

《走向未来》丛书和读者见面了。

她凝聚着我们的心血和期望。

我们期待她能够：展现当代自然科学和社会科学日新月异的面貌；反映人类认识和追求真理的曲折道路；记录这一代人对祖国命运和人类未来的思考。

我们的时代是不寻常的。二十世纪科学技术革命正在迅速而又深刻地改变着人类的社会生活和生存方式。人们迫切地感到，必须严肃认真地对待一个富有挑战性的、千变万化的未来。正是在这种历史关头，中华民族开始了自己悠久历史中又一次真正的复兴。

在艰苦而又富有生命力的改革道路上，我们坚

定了马克思主义的信仰，理解了科学的价值，并逐步深化了对我们时代和民族的认识。今天，我们听从祖国的召唤，热情地投身于实现社会主义现代化的伟大潮流。

马克思有一句名言：“思想的闪电一旦真正射入这块没有触动过的人民园地，德国人就会解放成为人。”* 今天，照亮我们民族的思想闪电，就是马克思主义、科学精神和我们民族优秀传统文化的结合，以及由此开始的创新！

在中国社会科学院青少年研究所领导下，我们编辑了这套《走向未来》丛书。

她力图从世界观高度把握当代科学的最新成就和特点，通过精选、咀嚼、消化了的各门学科的知识，使读者特别是青年读者能从整个人类文明曲折的发展和更迭中，理解中华民族的伟大贡献和历史地位，科学地认识世界发展的趋势，激发对祖国、对民族的热爱和责任感。

她特别注重于科学的思想方法和新兴的边缘学科的介绍和应用；把当前我国自然科学、社会科学，以及文学艺术方面创造性的成果，严肃地介绍

* 《马克思恩格斯选集》，人民出版社，1975年版，第1卷，第15页。

给社会，推动自然科学与社会科学的结合。

《丛书》是个新的园地，她将自始至终贯彻严肃认真的学风和生动活泼的文风。

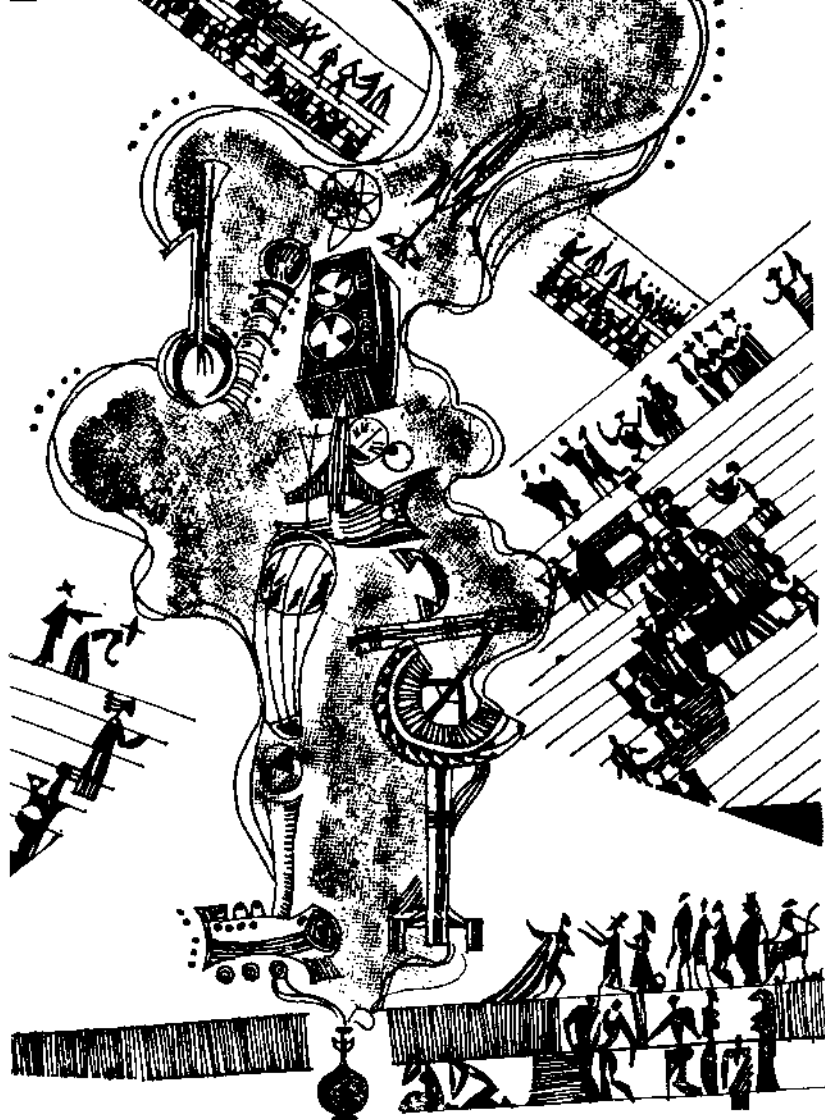
《走向未来》丛书，从她一开始就受到老一辈共产党人关怀，受到学术界前辈的热情支持。

约四百年前，弗兰西斯·培根在《伟大的复兴》一书序言中，曾经这样谈到书中描述的对象，他“希望人们不要把它看作一种意见，而要看作是一项事业，并相信我们在这里所做的不是为某一宗派或理论奠定基础，而是为人类的福祉和尊严……。”我们怀着真挚的感情，把这段话献给《丛书》的读者，希望广大读者关心她、批评她、帮助她。

让她成为我们共同的事业。

《走向未来》丛书编委会

一九八三年六月于北京



科学巨人之谜

序

不久前，拉里夫·赖教授曾在《和未来相撞》一文中写道：

“任何人，即便是现代科学家中最有才干的人，也不能真正地知道科学会把我们引到哪里去。我们乘着火车奔驰着，速度越来越快，路轨分叉越来越多，方向不明。驾驶室中没有科学家，每一个指针的背后都潜伏着危险。社会的一多半人都在最后一节车厢中向后看。”

这段话非常形象地表现了目前西方一些科学家对科学发展的态度。今天，没有任何别的东西象科学那样带来那么大的进步、那样令人神往和充满希望，但也没有任何别的东西象科学那样给人类造成空前的不安和迷惑。四百年来，尤其是20世纪，科

学正以它神奇的力量改变着我们生存的世界和思维方式。

在人类手中，它犹如阿拉丁神灯，有着翻天覆地的威力，又具有把幻想变为现实的魔法。依靠它，人登上了月球，在太空中踱着天使般轻飘飘的步子。依靠它，人潜入大海深处寻找矿产资源。但是，这个神灯呼唤出来的巨人也使人感受到它的威胁：地球在40亿年间生成的能源正在迅速地枯竭；维系人类生活的生物圈已濒于十分脆弱的平衡中。科学技术的发动机不停顿地牵引着飞快行驶的列车，迅速把人类推向不可知的未来。人类尚未适应新的环境，科学技术又把我们引到了一个更不熟悉的世界。

如果说，在牛顿和伽利略的时代，科学家和哲学家们还可以颇为自信地告诉人们“科学究竟是什么”的话，那么，今天没有一个真正的科学家敢夸这样的海口了。爱因斯坦也只能缅怀往昔，他感慨地说：“幸福呵，牛顿，幸福呵，科学的童年！”今天，科学已经不是一种不证自明的方法。人类曾陶醉于它的过去的成功和无可估量的远景。现在，环境污染和核武器已动摇了人们对于科学一定会给自身谋福利的信仰。因此在这个科学技术奇迹般地

改造人类生活的时代，反科学和伪科学又是如此盛行。科学技术掀起的巨浪，已把人类冲击得头晕目眩。

如果说科学发动机在西方科学家引起的忧虑是难于驾驭它，那么对于我们古老的民族，却处于另一种苦恼之中。自从明末清初近代科学技术陆续从西方传入之后，我们的爷爷和爷爷的爷爷，就不断努力把各种近代科学知识、技术向这个文明古国移植。他们从世界上买回来了科学发动机的各种部件，又按照世界上各个国家的不同模式装配它，然而，它一直没有真正发动起来。人们思考着，手拿螺丝刀捅捅这里，敲敲那里，希望找到毛病，等待奇迹的出现。但是，一百多年过去了，奇迹并没有出现，于是理论家们便争论起来。有的把科学难于发展的原因归结于小农经济的保守性，有的则反过来把我国经济不能起飞归之于科学技术的不发达。当人们普遍认识到科学技术的重要性时，亿万人民又眼巴巴地盯着科学家们，希望他们拿出办法。而科学家们则宣称，他们只熟悉科学发动机的一个部件，整个科学技术机器运转机制和结构则不是他们的专长。

西方科学家对未来悲观，中国科学家为如何使

我国科学技术飞速发展而苦恼，这两种观念都具有时代性。它们出于同一根源。这就是人们都迫切感到，我们对科学是什么，是这样地无知。今天，从宇宙中的黑洞到微观世界的夸克，从大脑思维的本质到遗传密码的破译，人们已经在用科学的光芒来照亮一切。然而，什么是科学？科学是怎么产生的？它和社会结构有什么关系？这些问题若明若暗，并不十分清晰。

于是，在世界上，以科学本身为对象的学科——如科学哲学、科学史和科学社会学应运而生。在我国，越来越多的人对中国近代科学落后的原因产生巨大兴趣。这一切代表了时代正在对科学进行反省。这表明，一个新的历史关头已经来临：人类不仅应该用科学的光芒照亮自然界，还应用它来照亮社会，照亮科学本身，照亮科学发展的道路以及那长期隐藏在历史阴影中的科学和文化背景之间内在的联系。本文就是在这一时代对科学反省的潮流中所作的一点尝试。

近年来，由于工作关系，我们和科学哲学以及自然科学史接触较多。我们和一些同志常常在一起讨论研究有关问题。在这一系列讨论中，我们越来越感到，科学史研究已经可以把对科学的认识推到

个新的起点上。首先，国内外科学史工作者已做了大量分学科的科学史研究。另外也出现不少从总体上研究科学史的著作。第二，现代科学的发展，已为我们提供了从新的角度来研究科学本身发展规律以及它和社会关系的工具。也就是说，借助于控制论、系统论和信息论的一些方法，有助于我们从宏观上认识科学史。我们正是在科学史研究工作者大量研究的基础上，力图从一个新角度来研究科学史的。

这本书的基本观点和研究方法，是在和一些同志的长期研讨中形成的。论文发表于1982年，^①并于同年在中国科学院《自然辩证法通讯》杂志社召开的“近代中国科学技术落后原因”学术讨论会上宣读。论文发表后，不少青年同志表示，希望我们能进一步详尽地阐明有关问题，还希望我们在讨论科学史问题时，尽可能地表露出自己研究方法的特色来。无疑，这促使我写下这本小册子，奉献给广大青年读者。这一研究仅仅是初步的，我们准备继续将有关问题深入下去。在此，我对与我长期研讨这

① 金观涛、姜洪业、刘青峰：《历史上的科学技术结构》，《科学技术结构的历史变迁》，《自然辩证法通讯》1982年第5期，1983年第1期。

一问题的同志们，以及合作写论文的同志们表示衷心感谢。

我们将通过对大量科学技术发展史上生动事例的具体分析，来阐明近代科学技术的结构及其飞速发展的内在机制。在此基础上，我们又用简明的线条勾勒了科学的起源和发展过程，特别是强调了科学技术发展和社会变动之间的关系。最后，我们把问题集中到讨论中国古代传统科学技术的特点上。这是全书的落脚点。

尽管本书提出了一个重大理论问题：为什么近代科学技术结构没有在有比西方中世纪相对先进的古代中国产生？但是，我们深知，我们的工作仅仅是一个初浅的尝试和探索。如果本书能起到抛砖引玉的作用，今后有更多对这个问题感兴趣的同志，从各种不同的角度来探讨它，那么我们深信，这一重大理论问题将更加清晰起来。第二，更远一点说，如果读者在读完本书后，在研究方法上获得了某种启发，为繁荣我国社会科学研究的局面、为促进社会科学与自然科学相结合，各自作出努力的话，那么我们将感到由衷的欣慰。

目 录

序

第一章 对近代科学技术发展机制的探求：循环加速·····	1
1·1 两组曲线：对中西科学技术史的一种宏观描述·····	8
1·2 对加速发展现象的整体分析·····	8
1·3 从蛙腿到无线电·····	12
1·4 实验——理论——实验的循环·····	18
1·5 技术——科学——技术的循环·····	23
1·6 水排+风箱=蒸汽机吗？·····	26
1·7 条件组合的复杂性：对结构的需求·····	33
第二章 近代科学技术结构·····	41
2·1 也从“苹果为什么往下掉”谈起·····	43
2·2 构造性自然观·····	51

2.3	循环加速机制对科学实验结构的要求： 受控实验系统·····	57
2.4	X射线和N射线的启示·····	65
2.5	古代技术：被束缚的普罗米修斯·····	72
2.6	打破古代技术封闭性的社会条件： 开放性经济结构的确立·····	78
2.7	科学对技术的解放：开放性技术体系·····	83
2.8	近代科学技术的结构和求实的 创造精神·····	87
第三章	科学结构的起源·····	97
3.1	一棵倒长的树·····	99
3.2	原始科学结构：从地球为什么是圆的 谈起·····	103
3.3	欧几里得几何学的方法和体系·····	106
3.4	种子怎样成长：示范作用·····	113
3.5	两个同时在地古代天文学家： 张衡与托勒密·····	119
3.6	示范作用的极限：古希腊科学的 衰落·····	124
3.7	示范作用在古代社会中所遇到的三大 障碍·····	128
第四章	近代科学技术的成长·····	135
4.1	光明来自东方：科学属于全人类·····	137
4.2	宗教与科学奇特的关系·····	145

4.3	科学革命时期示范作用的扩张·····	149
4.4	示范扩张的一种机制：否定性放大·····	154
4.5	社会对科学的容量·····	159
第五章	中国近代科学落后的原因·····	165
5.1	谜中之谜：伟大的发明为什么停滞了·····	167
5.2	四大发明为什么在中国产生？·····	173
5.3	农业、手工业技术与“大一统”社会 结构的关系·····	179
5.4	中国古代技术结构——大一统型技术·····	184
5.5	直观的天才与诡辩术：有机自然观·····	189
5.6	“伦理中心主义”的后果：科学的政治化 与技术化·····	195
5.7	非受控的实验结构·····	206
5.8	新的起点·····	218

第一章

对近代科学技术 发展机制的探 求：循环加速



大道汜兮，其可左右。万物恃之而生而不辞，功成不名有。

——老子《道德经三十四章》

1.1 两组曲线：对中两科学 技术史的一种宏观描述

现在，很多人特别是我国青年大学生对科学史发生了普遍的兴趣。1982年清华大学在大学生中调查了这样一个问题：为什么他们那样迫切地需要选修科学史课程？大部分回答是，他们想通过科学史的学习，去探索思考近代中国科学技术落后的原因究竟是什么。

这说明，科学史研究已突破了少数专家的小圈

子，成为社会普遍关心的一个问题。它深刻地反映了这样一个事实：我们生活在科学技术革命的时代，而在十年动乱期间，我国和世界先进科技水平之间本来已存在的差距又远远拉开了。严峻的现实迫使努力实现四个现代化目标的中国人，再次把眼光投向历史。在历史上长达千余年的时期内，我国科学技术曾处于世界领先地位，并对整个人类文明作出了许多有决定性影响的贡献。那么，为什么在近三、四百年中，西方科学技术会突飞猛进地发展并远远超过中国呢？

严峻的现实和令人感慨不已的历史，迫使我们去思考科学技术发展自身的规律及其与社会发展间的深刻联系。

科学史是个高度专业化的学科。它横跨自然科学和历史两大领域。同时，它的末端又深入到历史上一切科学和技术事件的细小的环节中去。对于近代中国科学技术落后于西方的原因这样一个科学史上的重大问题来说，必须从宏观分析的角度来把握。另外，它又和当前我国史学界热烈讨论的中国封建社会长期延续的原因联系在一起。

由于我们面临的挑战是一座整体问题的高山，我们就不得不从考察山上的岩石、土壤、树林的具体

分析中走出来，在以往科学史工作者对这座高山的每一个局部和细节分析的基础上从整体上研究高山的宏观形态。为此，我们有必要借助宏观分析和整体研究的得力工具——控制论、系统论和信息论，以及中西对比研究和统计分析。

为了从整体上把握中西方科学技术发展的一般趋势，我们统计了从公元前6世纪到公元1900年这2,500年间中西方的近2,000项科学技术成果，并绘出了两组曲线。①（图1·1·1图1·1·2）

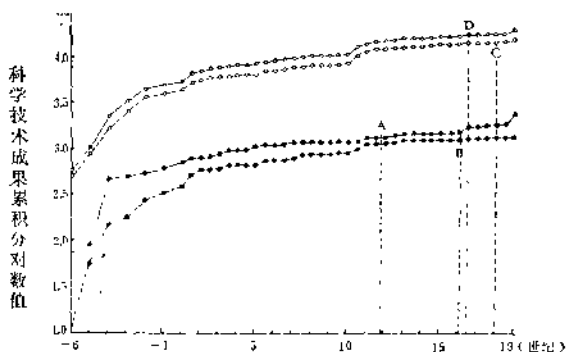


图1·1·1 中国古代科学技术水平累加增长曲线

（其中A、B、C、D分别为西方的理论、实验、技术和总分赶上中国的交叉点）

① 这两组曲线的统计方法和绘制处理，可参见金观涛、樊洪业、刘青峰：《文化背景与科学技术结构的演变》，载《科学传统与文化——中国近代科学技术落后原因讨论会论文集》，陕西科技出版社，1983年版。

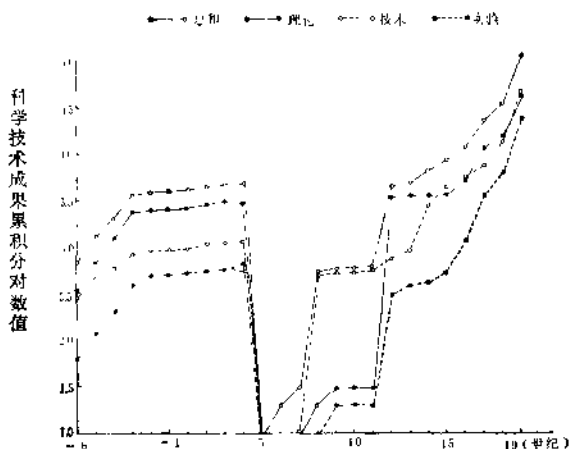


图1·1·2 西方科学技术水平累加增长曲线

我们将历史上的科技成果，分为科学理论、科学实验和技术三部分，分别计分并绘出三条曲线，再由三者相加得到一个总分线。由于采用了数量级计分法并对累积分作了对数处理，这就尽量减少了计分中的主观性（当然，如何改进统计分析方法，还有待于更多同志的探索）。

图1·1·1表示中国科学技术水平的增长，图1·1·2是西方科学技术发展过程（我们用“——”表示理论水平，“·····”表示实验水平，“·……·”表示技术，“——”表示科学技术总和）。这两组曲

线非常形象地反映了在不同文化背景和社会结构中科学技术发展的宏观历程。曲线表明在整个中古时代，中国科学技术水平远远高于西方，它的发展过程是缓慢的，连续的，到后期甚至有趋于饱和与停滞的倾向。西方在古希腊罗马时期，科学技术曾发展到了一个相当高的水平，中世纪出现了大跌荡，16世纪后科学技术出现了亘古未有的加速现象，整个科学技术水平呈指数曲线上升，17世纪后其科学技术水平超过中国。20世纪以来，科学技术仍然在以一种惊人的加速度在发展着。

令人鼓舞的是，这两条代表中西方科学技术发展的宏观历程的曲线，和目前中外大多数科学史著作所描述的趋势，是基本吻合的。

我们初步分析对照一下这两条曲线就可以看到，中国古代科学技术在两千余年间，一直处于缓慢的增长中，并没有出现过象西方那样中断性的大跌落。而西方科学技术发展曲线呈马鞍型，17世纪后又以指数函数的速度增长。所以，统计分析表明，历史上并不存在中国古代科学技术停滞倒退（具体学科可能存在停滞和倒退），17世纪后，中国科学技术之所以落后西方，实际上是因为西方科学技术出现了加速发展的结果。

于是，近代中国科学技术落后于西方的原因这一问题，就巧妙的转化为：为什么17世纪科学技术革命会在西方出现、而没有在中国发生呢？

1.2 对加速发展现象的整体分析

我们再来看看两组曲线所表现的不同的增长方式。它们大致可以分为三类。第一是趋于饱和的增长过程，中国古代两千余年和西方古希腊罗马时代都差不多属于这种情况。第二是大幅度的升降，西方中世纪初期就是如此。第三是持续地加速增长，16、17世纪西方开始出现这种增长方式。

这三种增长方式中，第二种是相当清楚的。它代表在两种文明激烈冲突取代过程里，古希腊科学成果被历史的尘埃所掩盖了。第一种增长过程，是表明科学技术成果的积累和进步，也比较容易理解。而第三种增长方式却有些令人费解。所以，分析西方近代科学技术加速发展的内在机制，也就能弄清楚它为什么会超过中国。

这样，分析近代西方科学技术加速发展的机制，就成为本书的一个出发点。要分析这种加速发展的机制，我们就应从深入研究科学技术的内部关系

入手。即弄清科学理论、实验和技术三者间的关系。

让我们继续对照一下图1·1·1和图1·1·2两组曲线，就会注意到另一个明显的特点，即中国和西方的科学理论、实验、技术三条曲线的关系是大不相同的。图1·1·1显示中国的三条曲线相互分离，其中技术线与理论线、实验线间的分离尤为突出，技术线远远高于理论线和实验线。这种相互分离的关系贯穿始终，三者似乎是各自独立地发展着。再从中国科学技术成果的总分中算一算，技术成果的积累计分高达80%，理论成果积分占13%，而实验成果积分仅占7%。这表明，中国古代科学技术水平主要是以技术水平来体现的。这一特点在图1·1·1中表现为技术线与总分线极为接近而又平行。而西方的曲线组中，理论、实验和技术三条线相关性较大，尤其是在16、17世纪后，三条线呈现出你追我赶、紧密结合的现象，整个科技总分线呈指数曲线的加速上升。

人们马上会想到，中国古代科学技术连续而缓慢的增长的特点，与它的理论、实验、技术三者相互隔裂的特点有没有关系呢？我们还可以进一步推测，西方科学技术结构里，理论、实验、技术三者之间，是不是在16、17世纪后形成了某种相互促进

的结构，从而造成了它的加速发展呢？

为了使问题更加清晰，我们统计了历史上中国和西方在不同时期中，理论、实验和技术占总分的百分比。

表1·2·1 西方理论、实验、技术在各世纪中积分中所占比重(%)

时间(世纪)	理 论	实 验	技 术
— 6	49	9	42
— 5	57	8	35
— 4	77	11	12
— 3	72	12	16
— 2	38	37	25
— 1	51	25	24
1	70	13	17
2	60	6	34
3	75	6	19
4	18	46	36
...	/	/	/
12	90	5	5
13	21	23	56
14	2	1	97
15	5	6	89
16	47	20	33
17	61	22	17
18	31	20	49
19	33	29	38

表1·2·2

中国历代理论、实验、技术在该朝代总积分中所占比重(%)

朝 代	理 论	实 验	技 术
春 秋	12	2	86
战 国	23	8	69
秦	0	0	100
西 汉	6	9	85
东 汉	10	14	76
魏、西晋	13	1	86
南 北 朝	15	13	72
隋	2	0	98
唐	8	11	81
五 代	/	/	/
北 宋	4	6	90
南 宋	19	7	74
元	8	12	80
明	16	3	81
清	40	1	59

从这两个统计表可以看出，西方在16、17世纪以后，科学理论、实验和技术三者 in 总分中所占的比例日益趋于接近。尤其是在18世纪工业革命以后，三者的比例大致相当，没有严重失调的情况了。而中国则是技术比例一直非常高，常常占总分的80%以上，而实验分占的比例往往很低。这一状况

一直没有得到根本转变。

由此可见，16、17世纪后西方科学技术的加速发展，是和它内部理论、实验、技术三者间的合理结构有着联系的。也就是说，只要这三者之间形成了某种相互促进的关系，那么恩格斯所断言的科学发展同前一代人遗留下来的知识成正例，就是完全可能的。因为理论、实验、技术都是前一代遗留下来的知识，只有当它们作为一个有机整体时，才为发展提供了一个合理的基础。

必须指出，在我们应用统计分析时必须十分小心。它只是提供了一种宏观趋势，可以给我们以某些启示。我们必须要进一步深入到科学史的具体分析中去，使推测变为具体分析，从而阐明近代科学技术加速发展的机制。

1.3 从蛙腿到无线电

人类在上古时代就接触过磁石，也发现了摩擦生电的现象。然而，到18世纪为止，人类对电和磁的知识还是相当原始的。发现流电是1780年11月6日。从这一天开始仅仅过了100年，赫兹就证实了无线电波的存在，人类一下子跨进了电子时代。这一

百年进化的速度相当惊人的。分析这段历史可以使我們更好地理解科学发展的内在机制。

1780年究竟发生了什么呢？原来一位名叫伽伐尼的意大利医生想吃田鸡，他的太太用外科小刀剥青蛙皮，当小刀失手掉在青蛙腿上，同时也碰到锌盘时，那只死青蛙的腿剧烈地跳动了一下。伽伐尼注意到妻子的发现：两种不同的金属触到青蛙腿时导致蛙腿的收缩。为了“在可控制的条件下”^①核对这一结果，伽伐尼制作了两个叉尖分别为铜和铁的叉子，于这年11月6日进行了实验，并把实验重复了许多次。

伽伐尼想，蛙腿为什么会在接触叉子时收缩呢？人们早已对电鳗之类带电的鱼有所认识，当时也证明了这种鱼可以给莱顿瓶充电。于是伽伐尼就认为蛙腿的收缩是由于动物电引起的。现在看来这一假说并不确切。无怪乎一位科学史家要说：“一位聪明的主妇作了一个有趣的实验，但那不够聪明的丈夫却纠缠不清了。”

虽然伽伐尼的解释不确切，但他1791年所发表的论文《论电力对肌肉的作用》却哄动一时。有

① 乔治·伽莫夫：《物理学发展史》，商务印书馆1981年版第128页。

一位生理学家写道：“伽伐尼论文的发表，在物理学、生物学和医学界所激起的风暴，只有同时期在欧洲政治舞台上刮起的风暴，才能与之相比。凡是有青蛙的地方，凡是可以弄到两根不同材料的金属的地方，人人都想亲眼看看断肢奇妙的复苏。”^①

伽伐尼的朋友——著名的物理学家伏打，很快弄清了蛙腿收缩的道理。这并不是象伽伐尼所说的那样肌肉和神经产生了电，而应该倒过来说，是神经和肌肉被外界的金属产生的电激发了。根据伽伐尼的设计，伏打找到了产生电流的条件。这就是被伏打称为“干性导体”和“湿性导体”的两类金属相互接触。也就是说，不同材料的闭回线路在液体中可以产生电流。为了纪念自己的朋友，伏打把这种电称为“伽伐尼电流”。

既然伏打有了关于产生电的理论构想，那么他就没有必要把自己的视线再盯在曾经震动科学界的青蛙腿上了。他设计出一个更为一般、也能够产生更强电流的装置。这就是伏打电堆。他把30块、40块甚至60块铜块与同样多的锡块或锌块连在一起，再在金属层间充满水（或盐水、碱水）。1800年3

^① 瓦尔特·康拉德：《近代科技史话》，科学普及出版社1982年版第79页。

月，他向伦敦皇家科学院呈上了这个装置的报告，他说“这些夹层插在一对对或一组组不同的金属对之间，交叉放置的顺序总是保持不变，这就是我的新仪器的全部结构。”伏打电堆发明后，科学家马上为它种种神奇的用途所倾倒。英国解剖学家安东尼·卡莱尔（1786—1840）用它发现了水可以电解，约翰·威廉·里特则用它将铜从硫酸铜溶液中分离出来，戴维用电堆发现了金属钾和钠。甚至连王宫贵族都用它来做电击的游戏。电的研究象潮水一样淹没了科学界。

在伏打电堆掀起的热浪中，特别值得一提的是1820年春天，有位丹麦化学家兼外科制药师汉斯·克利斯蒂安·奥斯特（1777—1851），他将一根与伏打电堆相连接的金属丝放在磁针旁边，发现当电流通过时，磁针会偏向一边。这真够奇怪了！通电金属丝并没有接触磁针，磁针似乎受到了某种超距作用。即使在它们中间放上石头、木块、玻璃，磁针仍然会偏转。这一著名的实验是在哥本哈根大学教室当着学生们的面做的。学生们不理解它的意义，毫无反应。奥斯特则激动万分。他立刻写了一篇题为《电流对磁针影响的实验》的论文，在法国《化学与物理学年鉴》上发表。

这一实验成果，很快引起科学家的注意，因为电和磁是有联系的。法国的物理学家安培(1775—1836)，弗朗索瓦·阿拉戈(1786—1853)马上接着进行试验。他们发现，电流不仅影响磁针，而且电流本身也具有磁性。也就是说，电磁存在着相互作用。1821年安培提出了电动力学。而比奥与萨伐尔提出了直线电流元的磁力定律。新的科学理论产生了。1821年一位思想敏锐但尚未出名的英国化学家法拉第，深深被这一科学思想所激动。他在日记上写下了一个闪光的设想：“从磁产生电！”为了证实这一设想，法拉第用去了整整10年的光阴。一直到1831年，法拉第取一个铜线圈放在一块大马蹄磁铁中旋转，电终于从磁中产生出来了。这就是著名的电磁感应实验。

1845年，法拉第根据他多年的实验成果提出“力线”概念和“法拉第效应”。但法拉第的数学基础不够雄厚，不能赋与理论以一种明澈优美的数学形式。但比他小40岁的麦克斯韦决心沿着法拉第的思想前进。1855年，24岁的麦克斯韦写出了《论法拉第力线》的电磁学论文。当1860年麦克斯韦见到他久已敬仰的法拉第时，就征求他对自己论文的意见。法拉第惊异于麦克斯韦的年轻，说：“我不认

为自己的学说一定是真理，但你是真正理解它的人。”的确，具有惊人数学才华的麦克斯韦终于在两年后，即1862年写出了科学史上划时代的文献《论物理学的力线》。他用一组微分方程严格地把握了电和磁之间深刻的联系。这就是著名的麦克斯韦方程式。同时，他根据这一方程预言有电磁波的存在。当时他只有31岁。

麦克斯韦生前并没有能看到自己的理论得到证实。1879年，49岁的麦克斯韦就患癌症去世了。他一直坚信自己的理论是正确的，尽管这一点并不为多数人理解。就在他去世的这一年，他还努力宣传电磁理论。这年春天，他的听众只有两个，一个是后来发明电子管的弗莱明，另一个学生是从美国来的。但病弱的麦克斯韦对着这头排两个学生，一丝不苟地讲着。在那空旷的教室里，他的声音迴响着。这年11月，他的声音永远消逝了。不到10年，赫兹用实验证明电磁波是存在的，麦克斯韦的声音震响了世界，它宣告人类进入了无线电的时代。它至今仍在震响着。

1.4 实验——理论——实验的循环

在这短短的100年电磁发展史中，迅速掠过一个一个的科学家。他们有的的一辈子在实验室里忙碌，用被酸烧焦了皮肤的双手摆弄着自己设计的仪器。有的是理论家，一天到晚沉浸在数学的沉思默想之中。他们提出了很多假说，设计了很多新的实验，其中大多数后来都被证明是错的，但也有对的。那些看起来是错的，却帮助一些后继者向真理走近了一步。科学就是这样在这混乱中开辟自己的道路。

如果我们把这一过程用一张简略的图表示，就可以发现科学前进的一种内在的节奏。这就是实验——理论——实验反复循环。（图1.4.1）正是这一循环，使人对电磁本质认识加速发展。

如果伏打不提出青蛙腿为什么会收缩的理论，就不可能根据伽伐尼的实验发明伏打电堆，这时，即使再多的人去重复伽伐尼实验，人们除了看到青蛙腿跳动外不会再看到什么了。科学史上只不过是增加了一个与摩擦生电类似的怪异现象的纪录而已。而奥斯特要不是有伏打电堆，也就不会发现磁

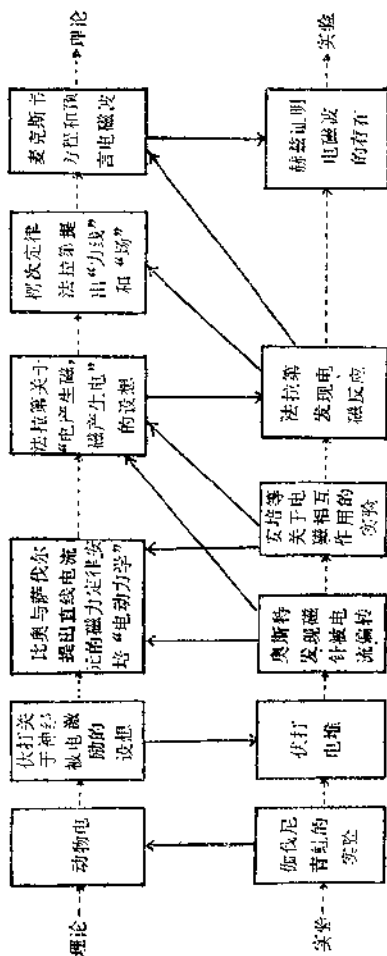


图 1·4·1

针在电流作用下偏转。法拉第如果不是坚信磁可以产生电，难道他会花10年时间去做这一实验吗？同样倘若法拉第没有做那么多关于电磁场的实验，麦克斯韦绝不可能凭空提出电磁场方程，也不可能明确地预见电磁波的存在。而电磁波要不是首先在理论上被预见，赫兹绝不会费尽心血不断改变装置，去寻找电磁波。在这里，我们看见实验和理论之间存在着不断转化，每循环一次，科学就深入一步。

也就是说，在科学史上科学理论和实验的发展有两条线索，一条是它们各自内部的继承发展，即科学家在前人理论成果的基础上发展新理论，实验科学家继承和改造、创新实验仪器和方法。如果仅仅只有两条理论和实验分离的发展线索，整个科学发展速度必定是缓慢的（图中虚线）。而在近代科学中，理论对实验起着指导和设计作用，实验则对理论起着鉴别作用。这两种效应使实验从盲目走向自觉、严格，也使理论从含混趋于清晰、严密。它们构成了一个强有力的循环（见图中实线箭头）。只有这种虚线和实线箭头组成的循环才是科学发展的动力。为什么呢？如果理论和实验毫不相关，实验科学家仅仅靠机遇和盲目的乱碰来发现规律，这几乎是不可思议的。实验家为什么去做实验？只有在理

论指导下，人们才能实验，他们常常是为了证明某种理论时才去做实验！伽伐尼是个出色的实验家，他曾总结出实验家的基本信条：“研究家在进行实验的时候所看见的，常常不是事物的真象，而只是他自己渴望看见的现象。”在伽伐尼以前，有不少人吃过田鸡，但他们事先没有关于动物电的想法，即使看见青蛙腿在金属刺激下跳动也不会注意。

很久以来，奥斯特发现磁针被电流偏转纯粹被当作一种偶然的机遇。近年来的研究已经否定了这种说法。对于一个实验科学家，他可以做的实验几乎是无穷多的，奥斯特为什么不去做湿度和磁针、颜色、声音和磁针之间相互作用的实验，而偏偏去设计一个磁针和电流作用的实验呢？实际上，早在康德时代，就有一些哲学家和科学家猜想过电和磁之间可能有某种联系。奥斯特是读过康德著作的，他做这一实验可能是受了这些假说的影响。

要是没有理论和实验之间的循环，理论仅仅靠思辨和自身逻辑发展，理论家再高明，它的前途也是暗淡的。康德关于电磁之间有联系的设想如果不经实验的证实，它永远只能是假说。对于任何一种崭新的理论，它必然会有错误的地方，闪光的真理常常混杂在错误与迷信和胡说的污泥中，只有通

过实验无情的检验，真理才能在烈火中涅槃、新生。中国古代的元气说无疑是一个出色的唯物主义理论。但是它不能用来设计实验，实验也不能来证实它。两千年来，它发展极为缓慢，至今还处于一片混沌之中。我们今天在里面发掘的光辉，那只是用现代科学的光芒去照亮它时看到的反光。

科学史上，不少人把自伽利略开始的近代科学革命称为“实验科学”的建立和发展。这个说法强调了实验在科学中的重要地位，但是，在这个意义上使用“实验科学”一词并不很确切。因为自古以来科学家就在做着实验，关键在于怎样做实验，怎样提出科学理论。我们认为，近代科学的加速发展从其内部原因来讲是因为形成了理论——实验——理论这一循环加速机制。有了这种机制，从事理论研究和实验研究的科学家们从各自的局限中摆脱出来，结合为一体。科学家在继承前人理论成果的基础上提出新的学说，这种新理论为实验提供了设计方案和方向，新的实验结果对理论进行审定鉴别，否定其错误，强化和明确其正确的因素，使假说得以成长为理论，同时实验也由粗放简单趋于精密复杂。科学也就在理论——实验——理论的反复循环中开始起飞！

1.5 技术——科学——技术的循环

细心的读者自然会发现，仅仅用理论——实验——理论这一循环来解释科学技术加速的内在动力是远远不够的。如果奥斯特仅仅有理论构想，没有导线、磁针和其它仪器，那么仍然不可能发现电与磁之间的互相作用。一个科学家手中要获得可以进行实验的仪器，这不是轻而易举的事。科学家可以根据前人的实验经验自己创造仪器，但他主要是从整个社会的技术体系中取得仪器的。伽利略可以用镜片来制造望远镜，但必须要有一个能向他提供镜片的技术社会，而眼镜片制造业的完善是和中世纪几百年技术进化有关。如果我们去追溯眼镜片的出现，就会发现一个广阔而错综复杂的演化网络，即发现另一个重大的循环，这就是技术——科学——技术的循环。

近年来，一些科学史家研究表明，西欧中世纪（13—15世纪）后期曾出现过一个技术和动力飞跃的时代。它和中国与阿拉伯技术的传入有关。正因为有这样一个颇为发达的技术背景，16世纪后科学家的实验室中才会出现压力计、温度计、显微

镜、真空泵等。制造精密机械和仪器的基础是由13—15世纪钟表制造业奠定的。天平在被化学家作为仪器之前，早已在金融库房和首饰加工行业中应用。可以说，整个中世纪技术的进步是16世纪后西方近代科学加速发展的前提。这一点在图1·1·2中非常明显。西方技术水平从13世纪开始出现了明显的上升，14世纪中叶至16世纪技术曾处在高于科学理论和实验的领先地位。

一般说来，技术发达，不仅能普遍提供新的实验仪器，而且还会造成技术成果向科学研究工具转化的压力。一个生活在技术发达社会中的科学家发现的机会，比技术落后社会中要大得多，不仅现在如此，古代也如此。

指南针是我国古代最先发明的，宋代著名科学家沈括在一千多年前就发现了磁倾角，比西方早了五六百年。这和中国古代技术发达直接相关。中国古代有关磁石磁针的制造技术在世界上首屈一指。指南针很早就被作为航海技术的一部分。北宋初年由曾公亮主编的《武经总要》中，记载了如何利用地球磁场来磁化剪成鱼型的铁片，这一技术相当精湛。当时指南鱼和指南针已运用于行军时辨别方向。这可能是沈括能够成功发现磁偏角的重要条

件。同样，磁偏角的发现又为制造更精密的罗盘奠定了基础。

但是我们是否能由此得出技术水平高必然造成科学加速发展的结论呢？那就不一定了。仅仅有技术单向的作用只能使科学发展到一个与其相适应的水平，技术本身又靠什么推动呢？中国古代科技水平增长曲线就是一个证明。图1·1·1表明15世纪中国技术远高于西方同期水平，西方的技术只是在工业革命后才超过中国的。中国古代技术水平高超并没有导致近代科学在中国出现，也没有带来自身的加速。实际上导致技术变革的动力本身是需要说明的，它不能成为终极原因。

一位科学史家对中世纪英国技术革新进行了大量研究，得出一个有趣的结论，一个社会有利于革新的主要因素是从前的革新。这实际上是指技术本身也要在一种反馈中自我促进，这一循环就是“技术——科学——技术”。中国古代技术虽然发达，发达的技术背景当然也在一定程度上促进了科学，但这种循环关系不存在。图1·1·1中技术、科学理论、实验三条曲线互相隔裂就表明了这一点。它们各自孤立地发展，连续而缓慢。西方近代技术的加速正是依赖了16世纪后出现的循环机制。由蒸汽机

发明而开始的第一次工业革命提供了一个极好的例证。

1·6 水排 + 风箱 = 蒸汽机吗？

李约瑟有一个著名的论断：蒸汽机 = 水排 + 风箱。^①李约瑟想用这一公式证明，没有中国古代技术成就，西方近代工业革命的心脏——蒸汽机是不可能发明的。这一公式是从分析蒸汽机结构得出的。

“风箱”解决了蒸汽机中双作式阀门问题，而“水排”则提供了直线运动和圆周运动之间的转换设备。众所周知，“风箱”是由我国宋代发明，尔后又传到西方。18世纪中国的双作鼓风机曾在欧洲普遍应用。^②而水排早在1,900多年前就在我国出现。^③在元代王桢《农书》中已明确记载着类似蒸汽机中曲柄和连杆、飞轮等将圆周运动转化为直线运动的装置。我国古代先进的技术为蒸汽机发明准备了基础，这一论断无疑是正确的。但是，最早发明了“风

① 参见胡道静：《水排和风箱对于往复式蒸汽机的启发》，1961年6月2日人民日报。

② 王毓光、闻人军：《中国早期对蒸汽机、火轮船的研究和制造》，1980年全国科学技术史学术会议论文。

③ 《后汉书·杜诗传》，卷61。

箱”和“水排”的中国人却没有制造出蒸汽机。这又是为什么呢？

发现蒸汽机可以成为动力并不象人们设想的那样简单，一个发明家看见火炉上的锅盖被蒸汽顶起来就想到了蒸汽机的原理。人类要利用蒸汽做功，首先能利用的只是低压蒸汽，随着蒸汽压力增加，机械的材料的加工和密封都是巨大的工艺难题。实际上，蒸汽机的雏型严格说来不是靠蒸汽压力做功，而是靠蒸汽冷凝后造成局部真空，外面大气压推动活塞做功。这种机械称为大气机。大气机的发明就非得科学参与不可了，因为它必须以真空实验为基础。科学史证明西方真正的蒸汽机制造，正是从真空研究开始的。

17世纪，伽利略的学生托里拆里等人对真空理论的研究，使得有人想到可以利用真空把大气压力作为动力加以传递。工程师发现一个充满蒸汽的容器一旦冷凝，就能制造真空，这种设想就导致最原始的大气机的出现。法国人巴本根据大科学家莱布尼兹的提议，于1690年制成第一台大气机。1698年，美国矿山技师塞维也利用真空原理制成能在矿井中抽水的蒸汽泵。1705年，一个叫纽康门的工匠结合了各类大气机的优点制成了在工业上有较大的实用

价值的大气机，这是蒸汽机的雏型。

这里我们看到了什么？一种新的技术出现，特别是革命性技术的出现，仅仅具有经济和技术本身的积累是远远不够的。它需要科学成果转化为技术成果。也就是说，需要一种科学和技术互相转化与促进的循环。水排加风箱本身仅仅是技术，它们还不等于科学。而蒸汽机的设计需要科学思想作为它的灵魂，这就是真空理论，这是中国古代所缺乏的！

蒸汽机发明后，就不断改进发展，最后被内燃机以及电气技术取代。在这整个历程中，具有革命性的意义的每一步都无不和科学——技术——科学这一循环有关。其中值得大书特书的是瓦特对蒸汽机的改进。

瓦特是苏格兰格拉斯哥大学的一名技艺高超的机械师。大学的环境，使瓦特了解当时的一些科学成果，而他从事的具体工作——修理仪器和各种机器则使他接触实际。当时，托马斯·纽康门制造的大气机已广泛地用作煤矿坑道的排水动力机械。瓦特经常修理这种纽康门大气机。他对这种机械的结构性能以及优缺点了如指掌。纽康门大气机最大的毛病是效率低，它非常费煤，只有煤矿和煤随手可得

的地方，才会不计成本地使用它。瓦特一直在研究改进大气机的办法。

1765年初的一个星期天，年轻的瓦特在散步的时候，突然产生一个想法。他被自己的想法震惊了，不由地停下了脚步。他赶忙回到工作室，开始了他那改变人类历史进程的伟大发明。

道理竟是如此简单：纽康门大气机之所以如此费煤，是因为每一次在蒸汽进入汽缸后，为了获得真空，不得不在汽缸上喷水，让蒸汽冷却。瓦特经常去听著名科学家布莱克的课。他知道布莱克有一个新的科学成果，这就是搞清了温度和热量不是一回事。将 100°C 的水加热成 100°C 的蒸汽，即使温度不变，也需要大量热量，这就是布莱克的潜热理论。纽康门大气机每次必须重新加热，这将浪费多少热量呵！

理论构想一旦涌现，技术细节的困难就会迎刃而解。瓦特的办法是加了个冷凝器。高温蒸汽进入汽缸推动活塞做功后，废气就立即排入第2个缸——冷凝器，被水冷却。也就是说，冷凝在第2个汽缸里进行。这时第一缸就自动下落。高温蒸汽又进入汽缸，第二次做功又开始了。这样，做功的汽缸始终保持高温。

瓦特自己没有财力进行改革实验。伯明翰一家工厂主马修·博尔顿非常有远见，邀请瓦特到他的工厂。于是这家工厂成为现代蒸汽机的诞生地。值得惊叹的是，瓦特在1769年4月24日提出的一份专利说明书中，阐述了蒸汽机的工作原理，显示出他敏锐的分析力和深刻的理论修养。瓦特成功了。这一成功并不单纯是技术本身改进的结果，而是科学与技术结合的产物。瓦特的天才不仅在于他具有高超的发明才能，更重要的，通过他完成了科学——技术——科学循环中，将最新科学成果向技术转化的重要一环。布莱克的潜热理论是当时热学的前沿，瓦特利用它成功地为新技术开辟了道路。

1776年第一台蒸汽机在一家冶金厂投入生产，18世纪末英国已有1,500台蒸汽机了。它带来了暴风骤雨般的产业革命。正如恩格斯在《奥地利末日的开端》一文中所说的，那些欧洲残余的封建堡垒连“法国革命、拿破仑和七月风暴都支持过来了，但是却支持不住蒸汽”，“欧美的公众现在可以高兴地看到梅特涅和整个哈布斯堡王朝怎样为蒸汽机轮撕碎。”^①

① 《马克思恩格斯全集》，第4集第521页。

瓦特改进蒸汽机后，技术的普及进一步掀起了研究蒸汽机效率的热潮。有个名叫卡诺的法国青年科学家，设想了一种计算理想蒸汽机效率的理论，这就是成为热力学基础的卡诺循环理论。也就是说，热机的研究促进了热学的发展。卡诺的工作实际上是完成了最新技术成果向科学理论的转化，同时这一理论反过来又为更新的技术成果的出现打下了基础。只有用热力学为指导，才有可能设计新型的更为复杂的热机，如内燃机、蒸汽轮机。这里可以明显地看到科学——技术——科学间的循环。蒸汽机在这一循环中进步，科学也在这一循环中不断扩大它的社会需求。

我们可以把这一历史循环过程画出如下框图：
(图·16·1)

总之，无论是蒸汽机时代还是电气时代都存在着一个非常强有力的从理论到技术，再从技术回到理论的循环。这一循环进行得越快，科学技术发展加速度也越大。蒸汽时代从真空研究开始一直到内燃机，大约历时250年。而电气时代从奥斯特实验开始，到电机出现，最后进入无线电超导时代，因循环速度比蒸汽时代更快了，所以它只经历了近一百年。

总而言之，这一循环中，我们可以明显地看到

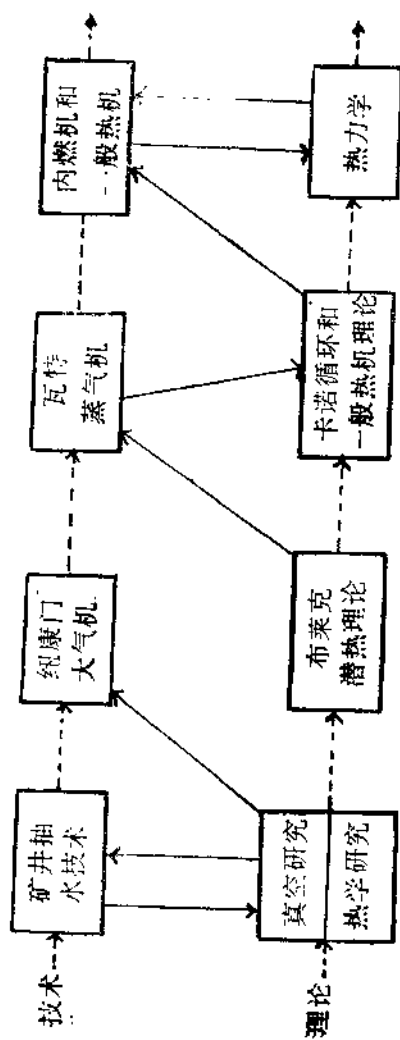


图 1·6·1 技术 → 理论 → 技术之间的循环加速 (以蒸汽机为例)

科学研究为新技术开辟道路，新技术的兴起又向科学研究提出新课题（包括理论和实验），同时，新技术所代表的生产水平和能力也为科学研究提供新的实验材料和仪器，促使更完备的理论和实验成果诞生。这些科学研究的新成果又反过来促进新技术的开发，新的实验产品和仪器也不断地社会化成为技术产品和工具。如此循环不已，相互促进，便形成了强大的加速发展机制。翻开近代科学技术史，在化学工业、无线电工业、计算机工业、原子能、激光、空间技术等等领域，无一不经历了这样的循环加速过程。而且20世纪后，这种循环加速的周期大大缩短了。

1.7 条件组合的复杂性：对结构的需求

上面讨论的两个循环只是一种简化的分析。实际上，理论——实验——理论，和技术——科学——技术这两个循环是互相关联的。如果缺少了一个，或者缺少了其中某一环，甚至是两个循环配合得不好，那么科学技术的持久加速就是不可能的。即使某一时刻、某一学科出现了加速，它或迟或早会停滞下来。这里，我们以近代化学的发展为例来

说明它们之间不可分割的联系。

众所周知，近代化学是从天平应用于实验开始的。没有天平，定量分析、原子量的确定、化学反应的定量描述都是不可能的。但是天平是早已有的称量仪器，一直到18世纪后期以前，整个化学界很少运用天平。为什么会这样呢？

天平要广泛为化学家所用，必须具备如下两个条件：第一，天平有相当的精度；第二，化学界有对天平的需求。天平怎样才能有一定的精度呢？它一方面取决于天平的重心位置，刀口平行，支撑平面的研究。另一方面精密天平的制造要有相应的材料，比如能进行机械加工的硬质钢等。特别只有在精细调节技能发展后，高精度天平才有可能制造出来。也就是说，它和整个社会的技术水平有关。化学界对天平的需求则受到很多因素的制约。实际上17世纪末和18世纪中叶以前，化学家几乎不需要天平。当时，燃素学说还占统治地位，化学家允许几乎没有重量或只有负重量的元素（如燃素）参加反应，于是就没有必要用天平来称它们。或者说，即使要用天平来称，当时不精确的天平也是无用武之地的。这样，当我们去分析为什么18世纪中叶以前天平没有引起化学革命的原因时，就会碰到科学史中

经常出现的因果循环：为什么化学家不用天平，因为社会不能提供精确的天平？为什么社会不能制造更好的天平呢？因为没有需求，化学家不用它们。

这种恶性循环怎么打破？它需要靠两种循环加速机制协同作用，单靠其中一种都是无能为力的。首先，静力学的普及提供了天平设计的理论基础，从钟表技术进化来的齿轮系统用于机械车削，拉姆斯顿（Ramsden）制造了第一台分割装置，1773年出现了直线分割机床，到18世纪末，几乎所有的大工场都采用了这种技术。在18世纪后半世纪，由于科学——技术——科学在力学领域中的循环，使得精密天平制造在技术上成为有可能的。但是仅仅有这一循环加速，并不能解决化学家对天平的需求问题。它的解决需要理论——实验——理论的循环。这是从燃素学说被否定开始的。

人类自古以来就熟悉燃烧现象，一块木头烧成了灰烬，人们总觉得似乎有什么东西从木头中跑掉了。到了16世纪后，这种直观印象被化学家抽象成一种普遍的理论，这就是燃素说。物质燃烧被看做失去燃素的过程。18世纪，化学家都普遍认为燃素没有重量，它如幽灵一样可以从容器中跑走。当时瑞典大化学家卡尔·社勒和一位叫普里斯特利

(1733—1804) 的英国牧师先后独立发现了氧气。由于氧气能帮助燃烧，他们称它为“火焰空气”。但他们都对燃素理论坚信不疑。杜勒认为“火焰空气”在密闭容器中的消失，是由于一种物体燃烧时，从它里面析出的燃素会和“火焰空气”化合，这种化合物能象幽灵似地透过玻璃而消失。因此，他们从没有想用天平来精确地做这一实验。

1774年普利斯特利访问巴黎时，把“火焰空气”的发现告诉了拉瓦锡。拉瓦锡立即注意到这一发现的重要性。他选用磷在密闭容器中燃烧。事先，他先称好反应前物质的重量。燃烧后，他发现，总重量并没有改变，但空气却少了五分之一，这五分之一的空气到哪里去了？天平给了拉瓦锡简确的答复。空气虽然少了，而总重量不变，那么燃烧后沉积在瓶壁上的白霜必然比燃烧前的磷更重——它是磷和空气中消失的“火焰空气”的化合物！就这样，拉瓦锡发现了质量守恒定律，并找到了燃烧现象的本质。他颇有信心地说：“物体燃烧时要和‘活空气’化合而成一种新物质。这和 $2+2=4$ 是一样清楚。至于燃素和这里有什么关系？不提它来得更清楚，提起它来，事情反而茫无头绪了。”

就这样，拉瓦锡用天平击败了占统治地位的燃

索说。更重要的是，他引进了用天平进行定量分析（实验）的新方法，使化学家破天荒地认识到天平的意义。长期以来，一些人错误地认为，拉瓦锡比别人有更精确的天平才导致他做出伟大的发现。实际上，拉瓦锡的天平并不比其他化学家更精密。一般说来，在一个技术社会中，一个科学家能得到的仪器，原则上别的科学家也能得到。拉瓦锡只是称得细心而已。不同的是他对天平的态度，他不允许没有重量的元素参加反应。这样一来，不太精确的天平在化学中也有用武之地了。在这里我们看到从理论到实验，再回到理论的循环过程。拉瓦锡的理论构想导致天平应用的可能，而天平的运用证实了拉瓦锡的理论，在燃烧本质被发现的同时，一种对化学发展产生巨大推动作用的仪器也确立了自己的地位。

这个例子很典型，正是因为理论——实验——理论循环和科学——技术——科学循环的协同作用，人类对化学的认识才开始起飞！拉瓦锡的理论使化学家对天平的态度发生了变化，整个化学界都需要天平了。这时，对天平的需求造成了社会压力，使技术系统不断改进天平，生产出精度越来越高的天平。随着高精度天平和各式各样新型的仪器

运用到化学实验中来，就开始了著名的“分析化学家战胜思辨的理论化学家”的时代。

这一段历史表明，循环加速过程是复杂的，它由许许多多环节组成，每一个环节都受到复杂的社会因素制约。只要其中任一个环节出了问题，整个循环过程就会中断。那么，我们怎么能保证这许许多多条件和因素正好组织在一起同时发挥作用呢？

“巧妇难为无米之炊”。做一顿饭并不是复杂的事情，但是它却要有米、柴、油、盐和巧媳妇，也就是说要有很多条件的适当组合。科学发展要复杂得多。一个科学家提出一个理论设想，千里之外的实验家做实验来证明它。另一个工程师花毕生精力把实验成果变为一种工具和仪器，这种工具被另一个科学家运用到一个起先完全没有想到的实验中。巧媳妇难为无米之炊的事是常有的，它在历史上最常见的后果就是循环的阻断，科学就只能在偶然和孤立的进展中积累和爬行。16世纪后，西方出现了奇迹，这一切复杂的条件突然聚合在一起了！科学技术史的这种重大变化又是怎么回事呢？

历史学家在解释某一重大历史事件时，总愿意指出原因是多方面的。“许多个原因”，这本身没有错，理论家的困惑在于为什么这么多原因会在此

此时地象千万条太阳光线一样聚焦成一点，燃起了火焰，除非把一切归于偶然（那么只能陷入神秘主义和不可知论）。我们只有接受一个结论，那就是出现了一种特殊的整体性结构！

结构是一种组织，只有它才能把无数条件有机地结合在一起，使它们有序地、协同地发挥作用。西方16世纪后科学技术之所以出现循环加速，正是由于逐渐形成了近代科学技术结构。首先，它形成了从事科学理论、实验和技术的三个社会共同体，这些共同体依据某种共同的原则来搞科学技术，并且疏通了理论、实验和技术之间转化的渠道，这使得三者之间的循环加速能在整个社会相当大的范围进行（图1·7·1）。

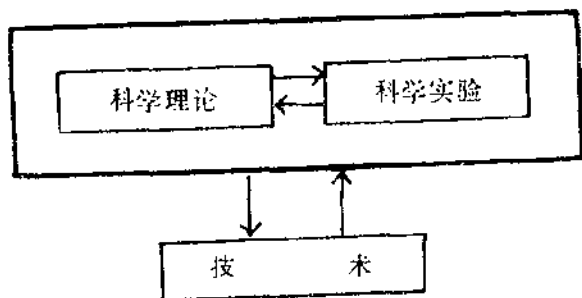


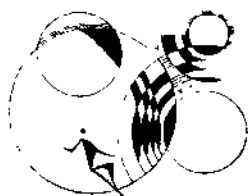
图1·1·7 近代科学技术循环加速机制示意图

近代科学技术结构是一个极为重要的概念，它主要是指科学理论、实验和技术三者之间形成了一个有机的整体。正因为具有这种结构，近代科学技术才能在和整个社会的相互联系中具有一种循环加速的发展机制。

那末，近代科学技术结构有着什么样的特点？它内部的理论、实验、技术三个子系统又各具备什么样的特点，这正是我们在下两章中所要继续讨论的问题。我们的讨论分为两步来进行。一是讨论科学技术的内部结构，即为了保证循环加速机制，对理论、实验和技术有什么样的要求和限制。二是科学技术结构和社会结构的关系，也就是近代科学技术结构产生的社会条件。我们先来考察其内部关系。

第二章

近代科学技术结构



当我漫步于造船码头的时候，我对于正在发生的事情仍然是无知的。我能看到每个部件是如何造出来的，但不知道如何将它们装配成一个“整体”。

——Hans Driesch 1901年

2.1 也从“苹果为什么往下掉”谈起

科学技术的结构是一个内涵十分深广的概念。我们先来分析近代科学技术结构中的理论结构。

理论结构并不是科学理论知识本身，它是指人们构造科学理论所依赖的框架，也就是科学家搞理论所遵循的规范。第一章中我们谈到，科学理论要在理论——实验——理论的循环过程中，才能加速发展。这个机制中存在着两种动力：第一是理论向

实验的转化，即理论起着设计、指导实验的作用；第二，是实验向理论的转化，也就是说实验对科学理论有鉴别作用，即可以通过实验发现原有理论中哪些是错的，哪些是可以发展的。这两种动力一个推一个拉，使理论处于运转之中，从错误到正确，从原始到完备。是不是人类提出的任何理论都具有这两种效应，都可以安装这两个循环滚动的轮子呢？否！

科学发展史表明，历史上提出过的许多科学理论都并没有自觉遵循这种原则。只有在近代科学逐步形成和兴起后，科学家们才找到了一种新的规范来搞理论。也只有在遵循一种新的原则来构造科学理论时，科学——实验——科学循环中的两种加速效应才显著起来。要理解近代科学家遵循着什么样的新规范，并不那么容易。也就是说，我们必须理解近代科学技术结构中的理论结构到底是什么。这里，我们也从“苹果为什么往下掉”这个具体问题谈起。科学史上，在长达2000年的时间里，一些伟大的哲学家、科学家都思考过物体下落原因的问题。对比分析一下他们所遵循的不同的规范，他们思考问题的方式和出发点是很有意义的。这种对比，有助于我们理解近代科学技术结构中科学理论

结构的特点。

人们常说，牛顿看到苹果从树上掉下来，受到启发而发现了万有引力。似乎牛顿的天才是因为他第一个去思考苹果下落的原因。人们自然会问：难道苹果只是在牛顿时代才往下掉吗？既然不是，为什么牛顿以前的科学家没有去思考苹果掉下来的原因呢？真的没有人思考过这一司空见惯现象的原因吗？这个问题可以抽象成：“为什么重物在脱离支撑（或悬挂）后总是往下掉？”

事实上，早在公元前4世纪时，亚里士多德就对这个问题有了极为简明的回答。亚里士多德是古代希腊的思想巨人。他当过马其顿的亚历山大大帝的宫廷教师。他对哲学和科学的贡献影响了人类思想达两千年之久。今天我们使用的（physics）物理学这个名词，就是他根据希腊字φυσικα（意为自然）创造出来的。

作为一个伟大的哲学家，亚里士多德必然要去考虑物体运动的普遍原因。在他看来，运动分为“自然运动”和“人为运动”两类。天体运行是自然的运动，圆周运动为其完美的形式。而地上物体运动是直线的，它们总是趋向于自己在宇宙中的自然位置。他又认为地球是宇宙的中心，那么重的物

体的自然位置就是趋向地球中心，也就是下落。而气体和火焰这些轻的物体的自然位置是天空，所以它们向上飘。显然，重的物体落得快，轻的物体下落得慢，是亚里士多德理论的结论。另一类“人为的运动”，作用力来自人手或机械，阻力来自物体的重量。这样，亚里士多德就推出了人为运动的速度与作用力成正比与阻力成反比的结论。

这一理论看来是尽善尽美的了，它很好地解释了重物为什么下落，因为它们要趋于自己在宇宙中的自然位置——地球中心。而且，重的物体比轻的物体下落得快，也很附合人们的常识。一直到牛顿时代，这一套理论还为大多数人所信服。也就是说，苹果为什么下掉？并不是牛顿以前没有人考虑过，而是这一现象被解释得极为完善，它看来和经验完全吻合，并不需要设计一个实验来鉴别它。

亚里士多德学说的第一个破绽是在伽利略时代发现的。当时，人们对人为运动和自然运动的区别开始有点不满了。一块石头用手投出去是人为运动，从高处掉下来是自然运动，这两者难道完全不可比吗？著名的科学家伽利略就怀疑这一点。伽利略从17岁进入比萨大学学医起，他的兴趣就集中在数学和动力学问题上。伽利略是用数学和逻辑来考

虑石头下落问题的。这就是科学史上著名的理想实验。

虽然有人说，这一考虑在伽利略以前就有人提出，但这一点无关紧要，重要的是伽利略时代具有革命思想的科学家怎样突破亚里士多德体系的。伽利略考察了亚里士多德的两个有关落体的基本论断：根据自然运动假定，越重的物体下落得越快；根据人为运动速度与阻力成反比的假定，当轻的物体（下落得慢）和重的物体（下落得快）在一起时，那末落得慢的将阻碍落得快的物体。伽利略设想，如果就石头而言，人为运动与自然运动在运动本身问题上没有差别，那么可以想象，当把一个重的物体和轻的物体用绳子联在一起时，据第一个论断，它们的总重量增加了应该落得更快；据第二个论断，轻的阻碍重的下落，下落速度应在轻重两物单独落下之间。这是一个悖论！那末，其中必有一个错了。聪明的伽利略，不需要在亚里士多德的理论中加任何新的条件，只把他的几个论断联系起来，赋与一种构造性来考察它们，就发现了精于逻辑的亚里士多德的理论原来是自相矛盾的。

这表明，亚里士多德和伽利略在构造他们的理论时，遵循着不同的规范。哲学家亚里士多德认

为，人为运动和自然运动是两种截然不同的运动，它们之间不可比。这就从思想方法上切断了这两种运动之间的联系。而伽利略却偏偏要用逻辑构造的方法来考察亚里士多德各个论断间的关系，这就打通了所谓人为运动和自然运动间的机械地分割。这是两种不同的搞理论的方法，代表了两种不同的理论结构。

在亚里士多德关于运动的理论结构中，实验对理论的鉴别作用很弱，它只要符合人们粗浅的常识就行了。因此，这一理论长期不能发展。而在伽利略那里，运动被作为一种统一的现象来考察时，实验就成为必需的了，实验也可以大大发挥其对理论的鉴别作用了。正是这样，伽利略并不满足于指出亚里士多德的破绽，他还用实验来考察石头究竟是怎样下落的，于是他用精心设计的实验证明了自由落体的加速度与物体的重量无关，它是一个常数： 0.981米/秒^2 。

伽利略极大地突破了亚里士多德的体系，这是近代科学的开端，但还有待于发展、成熟。他那时也还没有认识到地球上物体的下落和天体运动之间有什么联系。1642年1月8日，双目失明的伽利略在他被囚禁的别墅中去世了。

就在伽利略死后，在英国林肯郡一个农民家里艾萨克·牛顿诞生了。牛顿一生的科学贡献可以说是人类思想史上的奇迹。有人甚至感叹道：“自然界和自然界的定律隐藏在黑暗中；上帝说：‘让牛顿去吧！’于是一切成为光明。”确实，是牛顿最后推翻了亚里士多德学说，奠定了全新的科学理论规范。他是幸福的，他并不需要去重复伽利略走过的困难道路，而是直接继承伽利略的成果前进。正如他自己所说：“如果说我比别人看得远，这是因为站在巨人肩上”。

牛顿的出发点就是伽利略对亚里士多德学说的突破，既然自由落体加速度是一样的，对于石头、苹果，并不存在着人为运动和自然运动的区别，为什么这一点不能推广到天体中去呢？为什么天体要作圆周运动，难道天体和苹果真的不可比吗？闪电般的革命思想掠过牛顿的脑际。据说，这是在1665年夏天，当时伦敦流行瘟疫，牛顿从剑桥大学返回林肯郡老家。在秋天的一个黄昏，牛顿坐在后院的长凳上思索。天体运动的问题正苦恼着他。正好，一只被夕阳照得通红的苹果落下来了。牛顿的眼中放射出光芒。他想，使苹果落到地上的原因为什么不使月球下落呢？这就是牛顿考虑问题的出发点。

牛顿做了这样一种设想，他后来把它写进那本光辉的《自然哲学的数学原理》书中：“行星依靠向心力，可以保持在一定的轨道上”，“如果我们现在想象物体是从更高的高度沿着水平线方向抛射出去的，例如从5英里、10英里、100英里、1000英里或更高的高度，甚至高达地球半径的许多倍，那么这些物体就会按其不同的速度并在不同的高度处的不同重力作用下划出一些与地球同心的圆弧或各种偏心的圆弧，它们在天空沿着这些轨道不停的转动，正象行星在自己的轨道上不停的转动一样。”（图2·1·1）

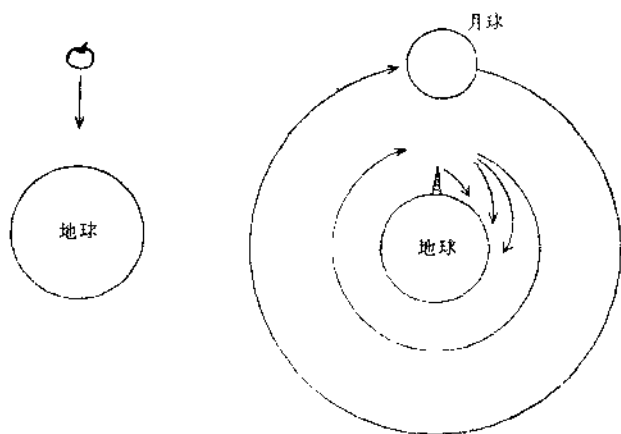


图2·1·1

在这里，地上苹果（或石头……）的下落和天体运动已归结为一个共同的原因：重力。这样，作用于月球的“天文学上的力”就没有神秘的性质了，它和作用于我们在地球上日常碰到的物体上的力是可以比较的，可以研究的了。就这样，牛顿完成了划时代的发现。从方法论上讲正如汤普逊（Thompson）所指出的那样：“牛顿的伟大贡献并不是‘他指出了苹果下落的原因’，而是他指出了苹果和星球之间的相似性。”

2.2 构造性自然观

这段历史告诉我们什么？亚里士多德并不是不想用经验来不断修正自己的学说，“重物落得快，轻物落得慢”，实际上是被千百年来人们的常识所证明的。只要亚里士多德坚持自然运动与人为运动不可比，那么根本没有任何实验可以证伪它。对于这样的理论体系，实验的鉴别作用非常弱，自然，它就失去了理论在循环加速中的第一种动力：实验的鉴别作用。

伽利略的贡献在哪里呢？首先在于他搞理论的方法。他认为一个理论体系必须无逻辑矛盾，他运

用逻辑将理论进行整理，使其清晰化。这还不是主要的，因为作为形式逻辑的发现者亚里士多德同样精于逻辑，伽利略的主要贡献是他把理论搞成一个构造性体系。在构造性体系中，各个判断的大前提必须发生构造性联系，通过各论断的构造性结合可以推出新的结论。它们不能互相矛盾，整个理论体系显示出一致的有序性。伽利略那个著名的理想实验就是证明。在亚里士多德那里，动力因假定和重物自然下落假定是互相独立存在着，不发生联系。它们一千年中都没有被证伪。伽利略一旦把理论赋予构造性，就发现了其中的矛盾。原来那些看来是证明亚里士多德学说的事实都可以对理论进行证伪，这是逻辑构造型理论体系大大增加了实验鉴别作用的结果。

那么，我们再来看看从伽利略到牛顿完成了什么转变？从地球上一切落体的加速度是一样的，到苹果与天体遵循同样的力学规律运动，这是一个从本体观到结构观的飞跃。它比上一个转变更惊人。

按照亚里士多德的本体观，不同类的事物在宇宙中处于不同等级的位置，这些不同类的事物的性质与运动规律是不同的。也就是说，运动规律与物体种类是不可剥离的，因此，苹果和星球没有任何

可比之处。这种来自于常识分类的哲学具有极大的迷惑性。显然，星球、苹果、木球是性质完全不同的东西，它们处于自然界不同的层次，难道它们会遵循共同的运动规律吗？亚里士多德的本体论哲学是很难突破的。今天一些为这种哲学束缚的人常常处于相同的苦恼之中：“电子计算机和人脑是完全不同层次的东西，为什么计算机可以模拟人脑的某些功能呢？”如果用这种思想方式想问题，理论就无法指导实验。因为世界上没有任何两个实物是完全相同的，正如没有两片树叶是一样的那样。任何事物就只能用自己说明自己，而不能用别的事物的实验来说明它了。实验室的力学实验怎么能说明天体运动规律呢？木球的运动怎么能说明苹果的下落呢？

要进行实验，特别是根据理论的需要有目的地来设计实验，必须完成从常识性的本体观到结构观的转变。即对不同的事物，我们仅仅限定其某一种性质来考察，把它数量化，看作一种结构的一部分，不论对于星球、木球、苹果还是石头，它们性质千差万别，但就质量、速度、空间位置来说，这几个变量是同一的，并处于一种有规律的结构之中。至于星球、苹果和木球其他的性质的差异并不影响这些特定变量关系的分析，这就是从结构观点

看自然，也就是把结构从性质的混合物中剥离出来。

这种结构方法是从几何学开始的。几何学中，可以撇开具体事物的种种特性，而只讨论长短、面积、位置（关系）等，测量只抽取事物的这些量并构造几何学公理体系。从伽利略开始，科学家把这种结构观推广到力学现象中去了。到牛顿那里完成了彻底的转变。牛顿以后，不仅是力学、光学、化学甚至是生物学，都开始用结构观点来把握自然现象的联系了。科学的对象不再是性质综合的实体，而是某一组相关性的变量的结构关系。

我们把逻辑构造型理论体系和从结构观点看待自然界这两者并用的理论规范称为构造性自然观。它是近代科学理论在结构上的特点。这两者缺一不可，如果仅仅有前者而没有后者，虽然理论具有高度清晰性，但也不能指导实验，循环加速仍是少了一条腿。

牛顿以前半个世纪，德国科学家开普勒的思想就处于从亚里士多德的本体论自然观向构造自然观转化的中间状态。他根据第谷·布拉赫观测行星位置的数据，在1609—1619年间总结出行星运动的三大定律。这一理论是逻辑构造型的，但还没有从结构观点来看世界，所以它对实验就没有很强的指导

作用。开普勒认为亚里士多德已经把一切问题都解决了。这样，他的理论只能是总结经验规律。在亚里士多德理论框架的束缚下，天才的开普勒所能做到的充其量不过是用数学语言描述天体运动。

而牛顿则把逻辑构造型理论体系和结构观结合起来研究天体运动。这样他从数学上推导出了开普勒三定律。力学结构观一旦建立，各式各样的力学实验室就建立起来，它们是直接用来证明远离万里的天体运动的。从此理论一方面指导实验，同时表现出极大的预见性。1845年法国天文学家勒维烈和英国天文学家亚当斯运用牛顿力学，计算并预言了海王星的存在。1846年德国加勒，根据行星轨道摄动理论的计算，发现了海王星，预见一个天体的存在，这在人类历史上是史无前例的。它充分显示了构造性自然观的力量。

构造性自然观是一种理论的规范，是搞理论的方法和原则，并不是理论的具体内容，它对于科学的意义，是慢慢被科学家理解的。最早它出现在欧几里德几何体系中，16世纪后，才被推广到力学，接着是电学、化学、生物学等等。它的明晰化走过一段曲折的道路，当它蕴藏在几何中时，信仰它的科学家把世界当做几何式的。当它被推广到力学领

域中时，18世纪的科学家（甚至包括牛顿本人）把它与机械世界观混同起来。只有经过近代量子力学革命，特别是控制论、系统论行为科学出现后，它的面貌才更加清楚起来。

特别值得一提的是笛卡尔对确立构造性自然观的贡献。我们知道，笛卡尔在思考如何构造科学理论时，发展了他著名的二元论哲学。笛卡尔二元论的意义并不在于它在哲学上是否正确，而在于它有助于科学家建立构造性自然观，使得力学结构从复杂的事物中剥离出来成为科学家研究的对象，而把有关灵魂等当时还弄不清楚的对象留在上帝手中。亚里士多德关于万物在自然界中的位置以及隐德莱希信条等等，再也不会妨碍科学家建立理论和进行实验了。笛卡尔在他的名著《科学发现的逻辑》一书中，明确地把欧几里得几何学的构造方法推广到所有科学理论的建立和鉴别中去。在建立科学理论时，可以先提出假设，由假设推出某些结论，如果结论与实验符合，则假设为真，反之，假设就要修改。这实际上是人类第一次用哲学语言说明科学理论体系必须是逻辑构造型的。这种理论构造和鉴别的基本原则，至今还为科学家们所遵循。

总之，构造性自然观有两个明显的特点：第一、

它具有可证伪性；第二、它具有预见性。这两个特点把它与实验紧密结合在一起，先由实验归纳出某些结论，科学家提出理论来解释它们，并预言其他结论，这些结论又可以由实验来鉴别，这样就构成了我们上一章所讲的理论——实验——理论的反复循环。换言之，构造性自然观就是近代科学技术结构中的理论结构的最重要的特点。它是近代科学家从事科学实践、构造科学理论所共同遵循的规范；它是近代科学理论日新月异地加速发展所必需的认识论。

2·3 循环加速机制对科学实验 结构的要求：受控实验系统

现在，我们分析一下近代科学技术结构中的实验结构。

“科学实验”这个词在我们时代已经用烂了。哲学家往往把它看做实践的同义语，某些工程师又仅仅把它想象成运用复杂的仪器设备。科学实验并不象人们想象得那样简单。它同样要满足一定的结构，遵循一定的规范。只有这样它才能用来检验理论，修改理论，并转变为技术。否则，它是不可能加入到前面所说的两个循环中去的。

为了说明理论—实验—理论循环加速机制对实验结构的要求，我们仍来分析上面讲过的例子。伽利略发现亚里士多德学说自相矛盾后，他怎样求得自由落体下落速度与重量无关、其加速度 g 是一个常数呢？

表面上看来，这是最简单不过的了，只要到比萨斜塔上将一个铅球和木球同时抛下，看其是否同时落地就行。很多科学史书都是这么讲的。实际上，这个故事大可怀疑。人们把科学实验看得过于简单了。伽利略在比萨斜塔上公开做的实验，这是他晚年的学生维维安尼（V. ViViani, 1622—1702）在《伽利略生平的历史和故事》中写的。这个说法很流行。但到本世纪30年代，一些科学史家，如美国的库珀（L. Cooper）、法国的考义莱（A. Koyre），对这一说法提出了质疑，引起了科学史上的一次论战。几乎所有著名的科学史家，如库恩、丹皮尔、梅森、柯恩等都卷入了这场论战。有人把它称为“科学史上99个谜中的第一个谜”。甚至有不少科学史研究者用模拟实验的方法，企图再现当年伽利略的实验状况。以下是这些实验获得的数据：^①

① 引自柯康年：《关于伽利略是否做过比萨斜塔落体实验问题》，1982年物理学史讨论会论文。

表2.3.1 当代外国科学史研究中对自由落体实验的模拟

姓名	国别	年代	实验地点	落体	高度 (m)	(m) 落地差	资料来源处
G. Feinberg	美	1964	剑桥	同直径铁球和木球	24.38	0.305	American Journal of Physics P502 (1965)
C. G. Adler	美	1978年前		同直径铁球和软橡皮球	30	7	同上 P200 (1978)
B. L. Coulter				直径10厘米的铅球和黑檀木球	100	5	同上
G. Feinberg	美	1964					
B. M. Casper	美	1955年 东京	卡尔莱顿学院	16磅炮弹 软棒球	60.96	6.1--9.6 (炮弹入土 0.457)	同上 P326 (1977)

上述实验表明，不同落体在同高同时下落时，由于空气阻力和其它种种不可控的干扰因素，必然有相当大的落地差。其中，同直径铁球和软橡皮球在30米的高度下落时落地差竟达7米，任何人用眼睛都可以明显地区别出来。比萨斜塔高54.8米，看来伽利略是不可能在这个斜塔上得出材料不同重的落体“同速落地”的结论的。

这里，我们不想介入这场“伽利略是否在比萨斜塔上做过实验”的论战。因为即使伽利略做过实验，这一实验并不能得出什么重要结论，更不能通过这个实验得到自由落体定律，算出重力加速度。原因很简单，我们不要忘记伽利略时代并没有精确的计时装置，也没有快速摄影装置，这给伽利略观察测量快速运动造成了困难。

那么，伽利略是怎样得到自由落体定律的呢？他想了一个绝妙的办法，决定“冲淡重力”，即用观察小球在斜面上的运动来代替自由落体。而小球在斜面上运动的速度是受控的，可以用斜面的倾角来调节。斜面越陡，球滚动速度就越快。当斜面倾角 90° 时，球就做自由落下。这样，只要倾角很小，小球运动速度是可以测量的，这里我们看到伽利略用斜面实验代替自由落体（自由落体只是它的极限

状态），显然这只有在构造自然观指导下才能做。

在伽利略的时代，还没有足够精确的时钟，这构成了实验中的另一个困难。那么，伽利略是如何计时的呢？伽利略在比萨大学学医时，就用自己的脉搏测得教堂蜡架的摆动每次持续的时间相同，发明单摆。他后来用这种计时装置来度量病人的脉搏。在求重力加速度实验中，他采用“水钟”来计时。这个装置与我国古代的刻漏很相似：一个大容器底部打开小口，流出的水量在一定时间是一定的，伽利略就是利用流出的水量来计时的。这种计时方法不够准确，对于自由落体那么高速运动，它是没有用的。但对记录斜面小球滚动所需时间，它却足够精确了。伽利略把斜槽固定在螺杆上，它的倾角是可以调节的，斜槽上标有距离刻度，它的上方是个可以关闭（为了测出通过确定距离所需时间）的水钟。

在这个受控实验中，伽利略记下在相等的时间间隔中（流下相同量的水）小球到达的位置。从起点开始，他发现球在这些时间间隔内所走过的距离，彼此成 $1 : 3 : 5 : 7 \cdots$ 的比例。斜面越陡，同样时间间隔中相应的距离变得更长，但它们的比例保持不变。伽利略把这一规律推广到自由落体

中。他得到的结果是：在一定的时间内，小球所走的总距离与这段时间的平方成正比。伽利略1632年写过一段论证这一规律的话^①，原话很长，可以根据他的原话画出一个图（图2·3·1）。伽利略证明，从静止开始的匀加速运动中，运动物体所走过的距离是它如果在整个时间内以不变的速度运动时所应走过距离的一半。把这些话换成现代数学语言来说，伽利略的匀加速运动定律可写成：

$$\text{速度} = \text{加速度} \times \text{时间}$$

$$\text{距离} = \frac{1}{2} \times \text{加速度} \times \text{时间}^2$$

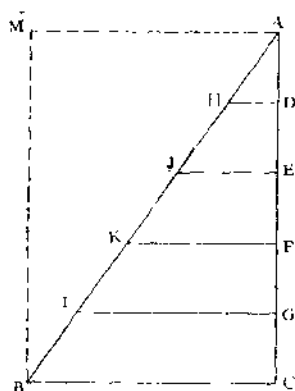


图 2·3·1

有了这两个关系式，伽利略就很容易求出重力加速度的值。上述关系式还表明，自由落体运动速度和它们的重量无关。

从方法论上来看，伽利略成功的秘诀，好象是他想出一

^① 伽莫夫：《物理学发展史》，商务印书馆1981年版第39—41页。

个特殊的妙法：“冲淡”重力。这种方法并没有普遍意义。但是这后面隐藏着一种对实验方法革命性的变革：这就是确立受控实验在科学中的地位。

所谓受控实验，是指实验应在严格控制条件下进行，而不是以在不可控的偶然因素起重要作用时的观察或测试结果为依据。只要控制条件足够严格，任何人在任何地方用同样的条件和方法做同一实验，实验结果都能以稳定的几率再现。

动手做实验，差不多每个古代科学家都会。但大多数实验都得不到确定的结果，原因是干扰不可排除。在比萨斜塔上做自由落体实验碰到各种不可控因素的影响，几乎在任何实验中都存在，不同的只是干扰因素随实验不同而有别。伽利略的伟大在于他非常懂得受控实验的意义。如果不在严格控制条件下做，实验结果不确定，不能重复，那就任何可靠的理论也总结不出来。他巧妙设计的目的是用一个条件可控（比如用斜面角度控制小球运动的速度）的实验来代替一个当时非受控实验，终于得到了自由落体定理。

确确实实，受控实验作为一种普遍原则一旦被科学家接受，从实验向正确的理论转化就大大加快了。这种潮流正是从伽利略开始的。伽利略之后，

一个科学家要是宣布发现了一种新的现象，他一定要把这个实验怎么做、需控制哪些条件公布出来，别人根据这些条件去重做并能重复时，实验才被肯定。根据这种实验提出的理论就可靠得多了，否则任何一个江湖骗子或偶然的干扰都会把理论引入歧途。伽伐尼意识到妻子的发现后，他做的第一件事就是把它变成受控的。然后伏打才有可能提出正确的理论。只有这样，实验—理论—实验的循环才能顺利进行。

古代大多数实验都不是这样的。例如中国元代大科学家郭守敬曾试图按照《续汉书》和《隋书》上的记载，做“候气密室”的实验。据载，这种装置每当交节气的时候，与之相应的管子里的灰就会飞散出来。无论郭守敬怎样绞尽脑汁，他仍然不能重复这一实验。显然，古书上的这一实验记载即便不说是无稽之谈，至少也可以说它是非受控实验。这样的例子很多，中国古代记载物理实验最丰富的是《淮南万毕术》。里面记录的大多数实验现在都不能重复，有的明显是错的，其中正确的是我们懂得现代科学原理后，才能重复它。

这说明实验只有是受控的，才能从迷信、方术中解放出来。受控实验的原则听起来似乎不复杂，

但做起来却需要科学家的才华。科学家去做一个前人没有做过的实验时，一开始实验也许不是受控的。怎样想出巧妙的办法把它变成受控的，这不仅需要实验家的勤奋，还需要科学家的头脑。做一个第一流的实验科学家和做一个第一流理论家同样是困难的。

2.4 X射线和N射线的启示

19世纪、20世纪之交，科学界曾被两个事件所哄动，一个是1896年伦琴发现X射线，另一个是1903年南锡大学教授R·布伦德洛(Renè Blondlot)发现了N射线。这两个事件是如此不同，它可以很典型地反映出科学—技术—科学循环加速机制对实验结构的要求。

X射线发现的经过人们是熟悉的。有一次伦琴把一包用黑纸裹着的照相底片放在离克鲁克斯管不远的地方，发现底片已经感了光。伦琴深深感到迷惑。这时只有两种可能：一个可能是未知的射线透过黑纸使底片感光；另一种可能是干扰。开始，伦琴根本不相信第一种可能，因为实验中干扰太多了啊！后来，他终于设法使照片曝光过程变为受控

的，伦琴才相信自己发现了一种新的射线。

X射线的发现后，立即被用于定位、拍照、探测等各种实验之中，有关X射线的新应用和发现的报道如风暴一样卷来。为了适应研究和应用的需要，X射线装置立即转化为一种新技术。1896年5月图林根的盖尔堡的玻璃厂马上将X射线基本设备制成产品出售；柏林斐迪南·艾尔奈克公司出售整套设备，定价在150美元以内。短短几年中，出售X射线设备的公司达12家之多。这一过程说明了：X射线一经发现，这一科学实验成果立即转化为技术，它进入了科学—技术—科学这一循环。

在X射线的热潮中，许多科学家纷纷投入发现新射线的探索。一时传来发现了各种各样新射线，如“Z射线”、“黑射线”等报告。这些射线后来差不多都被证明是不存在的，其中最值得一提的是N射线。它的发现者并不是一个不知名的江湖术士，而是当时声望显赫的南锡大学教授布伦德洛。

N射线在社会上也引起了不小哄动。一年半之中，科学界发表了数十篇有关N射线的论文。有人企图将N射线运用到医学临床之中，比如探测心脏轮廓。但是N射线是如此短命，到1905年，它就被

科学界否定，在当代技术体系中它连一点痕迹也没有留下。今天除了科学史家外，很少有人知道N射线事件。N射线的发现和运用作为科学研究中的某种歧途铭刻在科学史中。

N射线的命运之所以和X射线不同，关键在于它的实验不是受控的。当发现N射线消息一传开，世界上很多著名的物理学家都兴奋地着手重复布伦德洛的结果，但大多数都失败了。最后，世界著名的光学和光谱学专家伍德（Wood）访问了布伦德洛的实验室后得出结论，他说：那里“（似乎）存在着出现这种最难以捉摸的辐射形式所必要的显然是特别的条件”，实验结果完全是一种“积累有利性造成的，这种积累有利性可能是完全无意识的，但可能取决于事先对仪器布置的了解。”也就是说，布伦德洛所做的实验并不是一个受控实验，N射线完全是实验中偶然误差积累而造成的。伍德偷偷地取下了实验装置中一个最重要的部件铝质棱镜，而对实验结果毫无影响。这对于任何一个完全受控的实验是不可思议的。

布伦德洛1905年又发表了怎样观察到N射线的详细指南。他认为，实验者要避免任何视力紧张，要求观察者起绝对被动的作用。观察者必须使自己

习惯于以画家、特别是印象派画家观察风景的方式来观察实验检测器，必须尽可能保持安静。这些原则后来被N射线的支持者发展到不可思议的地步，他们认为只有拉丁人种才具备检测到N射线所必需的（智力以及感觉的）灵敏性。据说，盎格鲁撒克逊人的感觉能力由于长期受浓雾影响而降低了。而条顿人的感觉能力则因为长期饮用啤酒而变迟钝了。

N射线以及历史上种种错误使科学家头脑冷静下来，他们在对待新发现面前变得冷酷而又严峻。历史上无数的歧途使他们懂得了一条原则，并把这一原则作为近代科学实验的信仰，这就是：一种新的自然现象只有在受控实验中被发现时，才算真正的发现。否则，不管这一现象多么具有吸引力，科学家都付之一笑，并不认真的对待它。在非受控实验中，人们声称从泥土中自然发生生命都是可能的！

实际上，科学家和江湖术士的区别正在于此。早在伦琴发现X射线之前，很多人都观察到X射线的效应，1890年，古德斯比德曾经无意中拍了一张X射线的照片，但他把它扔到废相片堆中。这并不等于说，X射线是古德斯比德先发现的。这样的例

子在历史上举不胜举。心灵学的实验和发现的种种奇怪现象已有几百年历史，直到目前，某些人仍热衷于此，但是只要心灵学实验不按照近代科学实验结构成为受控体系，那么不管这些发现中有没有正确成份，它都不可能成为科学的对象。

X射线和N射线的历史向我们展示了一个重要原则，只有受控实验才能转化为技术，才能加入到科学—技术—科学的循环中去。我们知道，技术是人类有目的的一种实践活动，它的过程是受控的，实验成果向技术的转化就意味着实验室操作的社会化过程。这样，人们要完成实验向技术的转化，实验过程应尽可能地使用仪器，以及将实验结果物化，变成范规性的新仪器。显然只有受控实验才做得到这一点。非受控实验是不可重复的，也是无法物化的。虽然历史上有些非受控实验并不全是虚妄的，但这种实验不能从个别实验者个人的认识活动中游离出来，也就更不可能转化为技术了。受控实验中实验条件和结果的物化不仅使实验各项指标客观化了，而且也为社会技术系统生产它提供了条件，技术系统大多是以产品为其目的。实验过程的物化意味着使实验装置转化为定型的技术设备提供条件。它是实现科学（包括理论和实验）——技术——科

学循环的重要环节。

实验成果转化为了仪器本身还带来实验受控度的提高。如果伦琴不把自己的发现转变成X射线发生仪，那么以X射线为设备的新实验就不可能在物理、生物、医学那么广阔的领域内进行。一个生物学家并不要懂得X射线装置的结构，只要会使用仪器，就能做受控程度更高的实验。是的，实验成果的物化才会带来受控程度的增加，实验本身也在循环中发展。这样，实验成果转化为了新技术后，新技术又为新的实验提供了研究工具，构成了实验—技术—实验的循环。

科学—技术—科学循环除了要求实验结构是受控的，并尽可能使用仪器外，还要求受控实验和结构性自然观相结合。这就意味着仪器是有科学原理的仪器，它代表着原理，是原理的物质表现。这样，仪器和实验才有灵魂。它可以使自己的形式千变万化，以充实到技术那要求苛刻的实体中去。

前面我们曾讲过，中国古代没有真空研究，所以不可能设计出蒸汽机。实际上，中国古代科学家是做过真空实验的。《淮南万毕术》中载有这样一个实验^①：将沸水倒入很薄的铜瓮之内，又不注满，

^① 刘安：《淮南万毕术》，《南齐书院丛书》第8集，第4种。

将铜瓮密封，投入井中，在下沉的过程中，铜瓮遇水受冷，发生爆炸，声似雷鸣。这个“铜瓮雷鸣”的实验，事实上是由于盛沸水的铜瓮骤然遇冷，内部沸水变冷后造成局部真空，这样外部大气压加上井水压力就将铜瓮压破，爆炸出雷鸣般声响。这是世界上最早发现真空的实验，这个实验可以发展为受控的。但我国古代没有构造自然观，没有真空理论，所以即使有合适的社会条件它也不可能和技术结合起来。而“风箱”和“水排”只是沿着自身的改进完备，它们当然没有能进化为蒸汽机。

对仪器原理的重视一直是近代实验结构确立的重要标志。牛顿在1668年和1671年分别制造了两台反射式望远镜。他心里很清楚仪器只有以深刻的原理（理论）作基础才能设计出来。牛顿的这种信念，在他给皇家学会的报告中表现得十分清楚。报告中说：“我不怀疑，这个报告将比那个对仪器的报道，更令人高兴。”^①

此外，受控实验结构的全面建立需要学者传统和工匠传统的结合。因为一般提出理论、完成非实用目的实验是学者的工作，但制造仪器和将仪器转

① E·N·斯杰潘诺夫：《光学三百年》，科学普及出版社，1981年版第3—4页。

化为技术工具则只有靠工匠来完成。

翻开科学史，我们可以发现近代受控实验结构的建立，几乎都是由工匠和学者的结合完成的。工匠出身的工程师达塔格里亚和斯台文研究弹道和自由落体，学者伽利略则综合他们的研究发现自由落体定律。眼镜商汉斯·立帕席发明望远镜，刻卜勒立即研究其光学机制，再经伽利略改造设计了新的望远镜，接着又立即由工匠们投入生产。匠人罗伯特·诺曼发现磁偏角，学者吉尔伯特则构想出磁针指北的机制，并写出《磁力论》。这种结合的社会意义很大，它是科学（包括理论和实验）成果与技术成果相互转化的社会基础之一。

2·5 古代技术：被束缚的普罗米修斯

本章前4节，我们集中讨论了近代科学技术结构中的理论结构——构造性自然观以及实验结构——受控实验系统。它们大约在16、17世纪形成，当然在它们形成之前还有一个漫长的酝酿萌发过程。而构造性自然观和受控实验系统确立了自己在科学中的地位，这在科学史上常被称为科学革命。

图2·5·1是西方科学技术水平的净增长曲线。

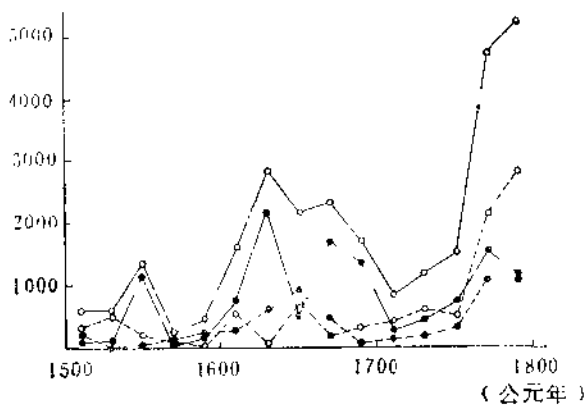


图 2.5.1 A

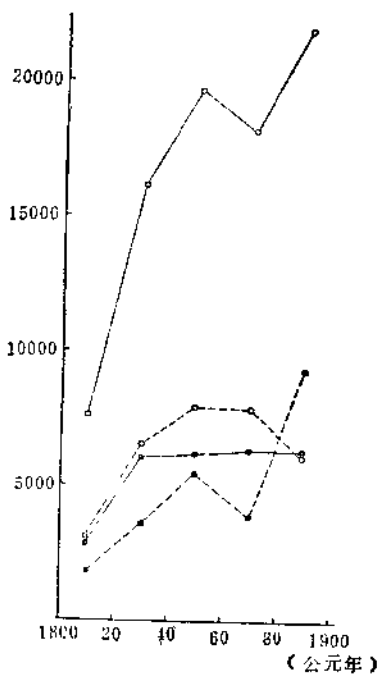


图 2.5.1 B

我们可以从这条曲线明显地看到，16、17世纪时西方科学理论和实验成果的增长出现了高峰，而且两者的峰值相互交替，一起又一起，呈现出你追我赶的形式。这就是我们在第一章中所论述的原理——实验——理论这一循环加速过程在科学史上出现的反映。

如果读者能进一步分析研究一下这条曲线，还可以发现，尽管16、17世纪科学水平的净增长出现了高峰，但是技术线却还没有达到相应的高度，没有真正起飞。这说明了什么问题呢？它表明，科学（理论和实验）——技术——科学的这第二个重要循环还没有完成。历史上，16、17世纪仅仅确立了构造性自然观和受控实验系统，而技术发展的高峰并没有出现，直到18世纪，才爆发第一次工业革命。这表明，科学成果的社会化所必需的两个历史条件还没有成熟。一个历史条件是资本主义经济结构的确立还没有完成。这是社会因素。另一个因素是科学技术结构内部的。即适应于构造性自然观和受控实验系统的近代技术结构还没有成熟。以下，我们将进一步分析循环加速机制对技术结构有什么样的要求。这种要求是严格的。为了弄清楚近代科学对技术结构的要求，我们首先要弄清楚古代技术结

构的特点。只有这样，我们才能明白古代技术结构向近代技术结构转化时需要克服哪些障碍，即摆脱哪些自身的束缚。

众所周知，技术和人类文明一样古老，在科学产生之前，人类已经运用着技术。技术作为人改造自然的武器，它内部必然包含科学的萌芽。任何一种技术过程要行之有效，它必定是受控的。人类开始使用最简单原始的工具时，它们就是受控于人的。按理说，技术加入到科学（理论和实验）——技术——科学这一循环过程中去，是自然而然的事。但实际上并非如此。古代技术并不能自发产生技术——科学——技术这一循环，它也没有自觉地在循环中加速。

技术不是人类有目的改造自然的手段和方法吗？那么为什么会这样的呢？确实，要理解古代技术是受束缚的，并不那么容易。举例来说，火是远古人类最早使用的技术。它在神话中的命运正好是它在历史中的命运的反映。技术之神普罗米修斯把天火偷给于人类。人类依靠火脱离了原始蒙昧状态。技术之神窃火引起上天的震怒，他被束缚在荒芜的高加索冰峰之上。

古代技术第一个束缚是技术和它的目的物——

产品不能分离。中国古代著名的能工巧匠李春在造赵州桥时，进行了材料强度的力学试验，但这一切仅仅被当作造桥的技能，而不是力学方法。中国古代制造瓷器技术十分发达，为了烧出美丽的器具，必须严格控制温度和窑内氧化还原的火候。但是制瓷匠人把这一切仅仅看作是对制造瓷器而言的。他们很难想到，在造玻璃上也可以用类似方法。所以中国古代制瓷技术很先进，同时制玻璃技术却很落后。虽然也有个别人物去进行技术转移尝试，比如隋朝就有人想把制瓷技术改造用于做玻璃。但这种事例是不多的。

勇于打破束缚的人物常常被当作匠人之神。鲁班因茅草割破了手而发明锯子的传说，毕升看到图章联想到活字印刷，这些美好的想象正好反映了古代技术和它目的物分离的困难。如果一种技术不能从它从事的产品中分离，技术转移又怎么可能呢？它加入到技术——科学——技术的循环就更不用说了。

古代技术的第二个束缚是技艺和匠人的手和脑不可分离。技术是融合在匠人身体中的有机部份。古人常把高超技术形容为“得心应手”。“得心应手”的寓言正好反映了古代技术的这种特征。

据说春秋战国时，齐桓公在看书，一个匠人在殿下面箍轮子。匠人好奇地问国王在看什么书，齐桓公说是在看圣贤的书。匠人说，这些书上写的全是糟粕。桓公听了很不高兴，要匠人说明理由。匠人说，就拿箍轮子来说，如果我把外面的铁圈做得过大，安上去就会掉下来，如果做得过小，就安不到轮子上去。怎样做到不大也不小呢？我只能“得之于心，应之于手”，既不能告诉别人，也不能写到书里去。既然如此，那些写进书的东西不都是无用的糟粕吗？匠人的声明值得我们深思。古代技术不能标准化，它和工匠的手脑融合成一体。这样的技术只能靠祖传身教，通过一代一代匠人长期摸索才能掌握。

这两个特点造成了古代技术的凝固性和封闭性。它首先带来传递的困难。我国汉代一个制造浑天仪的著名匠人就讲过这样一段话：“我少能作其事，但随尺寸法度，殊不晓达其意。后稍稍益愈。到今七十，乃甫适知己，又老且死矣。今我儿子爱学作之，亦当复年如我，乃晓知己，又且死焉。”一个人接触某种技术时，一开始知其然，但随尺寸法度。当他刚刚似乎知其所以然时，已到垂暮之年了。这种状况世代地重复着。在这种技术结构

中，只要社会对某一种产品需求发生改变，甚至于某一个工匠的死亡都可能造成技术发展的中断。

在古代，封闭性所带来的技术退化是常有的事。现在考古学家从地下掘起罗马时代不锈的铁钉，我们并不知道它们是用什么技术做的。大马士革钢也是一个谜，中世纪人并不知道合金加入剂，他们怎么炼出强度这样大的不锈钢呢？文艺复兴时一些优秀画家都是用永久性的颜料来绘画的，随着他们去世，我们至今还很难制出这些颜料。古代技术再高超，它并不能加入到科学—技术—科学的循环中去。它只能自身封闭地缓慢爬行，并随着历史的大风大浪而颠簸，它经常葬送在海底不为后人知晓。神秘的大西岛沉没的传说，复活节岛上巨大的火山石雕成的石象群，非洲中部原始森林中的巨石城堡，都在告诉今天的人类：人类历史上有多少技术发达得令人难以置信的文明，永远地沉默了。

2·6 打破古代技术封闭性的社会

条件：开放性经济结构的确立

打破封闭性技术首先要有社会经济动力。近代资本主义经济结构确立后所引发的第一次工业

革命，正是打破古代封闭性技术系统，迫使它加入到科学（理论和实验）—技术—科学的循环中去的革命。

我们知道，工业革命首先是从纺纱机开始。实现纺纱机械化的第一步又是1764年英国斯坦德希尔的织工哈尔格里沃斯（1720—1778）发明的“珍妮机”。据说，有一天他的妻子珍妮纺纱时不小心打翻了纺纱车。奇怪的是，横架的纺锤竖起来后仍然继续工作。于是，哈尔格里沃斯决定把横式纺锤改为竖装。这看来非常简单的由横到竖的改装，却完成了纺织史上的重大改革。横装一般只能装一个纺锤纺一根纱，竖起来以后的珍妮机，一开始就能同时纺8根纱。恩格斯曾高度评价了珍妮机的历史作用。

如果我们从技术结构演变的角度来看这一发明，首先就会看到，技术改造之困难。在纺锤被竖起来之前，曾世代代横躺着转动，人们一代一代因袭着古老的方法。居然没有人想到把它竖起来，它充分地反映了古代技术的封闭性。第二，我们自然可以问，难道珍妮打翻纺纱车之前，纺机从来没有被打翻过吗？肯定不是这样。那么为什么珍妮机到18世纪才被发明呢？

非常明显，这恰恰是英国18世纪巨大的经济发

展动力带来的。社会需要棉纱，它促使工匠挖空心思去制造能纺更多棉纱的机器。否则，哈尔格里沃斯是不会去思考纺车打翻的启示的。这不是历史上某一杰出工匠个人敏锐的眼光，而是巨大的社会需求所赋与人类的历史的眼光。这种历史眼光，使人类在千年的习惯的黑暗中看到了改革的光明。

打开18世纪英国纺织工业史可以看到，珍妮机仅仅是一系列变更中的一环。珍妮机发明后，1767年木匠海斯（Thomas Highs）设计了18锭的水力纺纱机。到1779年，童工出身的克隆普顿（Samuel Crompton）将珍妮机和水力纺纱机的原理综合，发明出新型的走锭纺车——妙尔（mule）纺纱机，每台锭数已增到300—400枚。到1785年，刚刚诞生不久的蒸汽机就作为动力进入了纺织业，英国建立了第一座以蒸汽为动力的棉纺织厂。这一系列变更主要不是靠技术内部推动力引起的，而是由于资本主义经济结构具有开放性。

在此，必须指出，如果我们仅仅局限于技术本身来看，并不能判断其自身是开放的或是封闭的。人们从技术本身来讨论技术时，往往会陷于对技术、技艺水平是高超的或低下的评价。我们这里所说的技术的开放性和封闭性，是指的技术的结构，而不是

指其内容或水平。开放性技术体系只可能出现在开放性经济结构中，技术的转移来自于强大的经济动力。相反，在一种封闭的技术结构中，可能有非常高超的技艺和发达的水平，但它仍是封闭性的。

一个明显的例证是中国宋朝，其纺织技术已和英国工业革命前夕相当。当时已发明了和海斯水力纺纱机类似的32锭畜力和水力大纺机，其产量是小纺车的30—50倍。据记载：大纺车“昼夜纺织百斤，不劳而毕，可代女工兼倍省”^①。但是中国纺织技术虽然高超，它仍是封闭性的，并没有引起一系列改革的链锁反应。

英国18世纪出现封闭性技术向开放性技术结构转化，首先是经济动力的推动。资本主义经济的发展一次又一次地敲打着古老的技术的大门，迫使它行动起来，资产阶级政府甚至采取一系列经济和政治措施来迫使技术转移，打破行业界线。英国工业革命前夕一系列经济和政治对技术的压力可以明显地反映出形成开放性技术体系的第一个前提。

众所周知，毛纺织业是英国工业革命起飞的出发点。而英国的16世纪时先进的毛纺技术，则是尼德兰和法兰西织工传来的。16世纪中叶，西班牙镇

① 王桢：《农书》，农业出版社1963年版第22卷第521页。

压尼德兰革命时，约有3万名尼德兰工匠逃亡到英国。16世纪下半叶，法国的胡格诺宗教战争，迫使大批新教徒带着资金和技术逃到英国。英国下令让这些先进技工为英国培养技术工人。没有这些政治和经济的压力，尼德兰的先进技术不可能在英国扎根。为了增强技术移植的活力，英国费尽心机，其中有政治措施、经济奖励，包括授予那些掌握商业秘窍、精通生意经的外国新教徒以公民的称号等等。

另一个十分典型的用经济和政治压力冲破技术行业界线的例子是英国棉织技术。本来英国棉织技术并不先进，为此，英国政府采取了强有力的措施。比如，1720年国家利用海关法禁止印度棉布输入，并迫使先进毛纺业的槌毛、梳毛、剪毛、纺毛技术和工具迅速转移到棉织工业中。对于工匠来说，改行是痛苦的事情，没有强大的压力很难做到。

总之，在古老的封闭性技术结构中，技术的产品是商品，可以在社会中转移，而技术本身却不是商品，它的凝固性构成了循环加速的巨大阻力。克服这种阻力的首要条件是资本主义经济结构的建立，一次又一次强烈的需求冲击并迫使技术转移。资本把技术还原成一般等价物，并用纯粹的经济效益来

衡量它们。它把工匠变为雇佣劳动，把他们的技能和人一起转化为商品。对于匠人来说，这是失去他们自古以来就以此自豪的技艺的痛苦过程，但对于技术体系来说，是开始摆脱古老束缚加入循环加速的伟大开端。

2·7 科学对技术的解放：开放性技术体系

仅仅有经济的动力推动着技术往前走，技术还是被动的。当这种动力不那么强烈，或者需求满足到一定程度时，技术的进步就会放慢速度，甚至停下来。技术要参加循环加速，必须从内部获得解放。仅仅解除普罗米修斯身上的铁链还远远不够。他必须站起来，不再怕宙斯的风雨雷霆，他必须获得一种内心的解放，使整个世界感到他不可抗拒的创造力。这种内在的解放只有科学才能给与他。

我们在上一节讲了，古代封闭性技术转移的困难来自于技术和掌握它的匠人不能分离，生产技术和它制造的产品不可分离。这两种不可分离都来自于一个根源，这就是技术的纯粹实用性，人还没有真正理解它，只能运用它。而一旦技术具有科学的灵魂，人们行动就变成理解以后的行动，那么一切行

业的壁垒就可能被打通，匠人的技艺也就不再带有不可思议的神秘性了。也就是说，循环加速机制对技术还有内在的要求，这就是技术与一般自然观相结合，使它具有科学的灵魂，只有科学才能使技术成为通用的。

我们知道，指南车是中国古代的伟大发明，相传黄帝制造了它，中国历代有不少科学家都仿造过它。在指南车中已经包含着自动控制的一般原理，它是世界上最早的自动机械。但是没有自动化原理，指南车只不过是皇帝仪仗队的摆设而已。科学史家也曾为中国古代的“被中熏炉”感到惊奇，因为它里面已有现代陀罗仪中的方向支架装置。但没有科学，被中熏炉只是达官贵人享乐用品，它不会被普遍运用。

具有科学精神的近代科学家则能够从生产流程中，抓住技术的关键问题。一个生动的例子是，对19世纪德国科学和工业振兴起过重要作用化学家李比希，某次去参观一工厂，厂主指着一个称为“尖叫锅”的装置对李比希说：“教授，你在这里看到的现象是任何理论都无法解释的，当我的锅叫得最欢时，就生产更多的钾盐。”李比希笑着说，一把铁屑就能起到这个作用。李比希指出，铁起到催化作

日，原来是靠锅内搅拌器和锅壁的摩擦来制造铁屑的。厂主听从李比希的告诫，生产能力大大提高，并从此对科学变得尊重了。在厂主那里，技术是盲目的。而它一旦和化学理论结合就变得清晰，也容易自我改进了。

要赋予技术以科学的灵魂，技术就必须完成两个转变：第一，由手工操作变为机器生产；第二，匠人转变为工程师。第一个转变不仅意味着技术从匠人技艺中升华了，它能够与匠人的手脑分离，还意味着技术也成为科学研究的对象。而第二个转变则表明在个人身上实现了科学与技术的结合，这就是不同于古代能工巧匠的近代工程师的大量出现。这两个转变大约在17、18世纪开始完成。

在技术史上，科学对技术的解放是从蒸汽机开始的。蒸汽机本身就是科学与技术结合的产物。科学一旦进入技术体系，一系列革命性的变化就开始了。首先匠人本身不再是机械的能量了。强大的动力迫使匠人物化自己的手艺，只有用机器来实行自己的操作，才能和蒸汽动力相匹配，这就为技艺从匠人的手和脑中分离出来打开第一个缺口。

近年来，科学史家研究了1750—1850年第一次工业革命期间的许多著名技术发明家的传记。研究

表明，第一批蒸汽机和机床大多出于经验丰富的能工巧匠之手。他们往往只具有自学得来的简单的科学知识。他们或者是象布累马那样的车匠，或者是象麦多克和斯蒂芬孙那样的机械匠，或者是象纽康门和摩德斯雷那样的铁匠^①。作为匠人，他们和古代或许没有什么差别，但他们却在蒸汽机的压力下不得不抛弃古代的传统，去制造模仿自己操作的机器。正如贝尔纳所指出的：“只有到将近19世纪中叶，工程界的任务才开始超出古文明人的适应范围。内斯密司的汽锤一出世，缶耳堪锻神（Vulcan）冶锻场上一切传统就一去不复返了，而机器制造就变成了机器规模的工作，不再是人身规模的工作了。”^②这样，机器代替了工匠的操作，而对机器的制造就迫使匠人学习科学，使他们进化为工程师。

历史表明，到19世纪从事电机研制的人不再是单纯的工匠发明家了。第一台有效的电动机就是物理学家、技师莫里茨·海尔曼·雅各比在实验室中制造出来的。雅各比于1847年成为彼得堡科学院院士。德国的维尔纳·西门于则更有说服力。1867年1月，他向柏林科学院提交了《不使用永久磁铁使工

① 贝尔纳：《历史上的科学》科学出版社1959年版，第342页。

② 贝尔纳：《历史上的科学》，科学出版社1959年版，第344页。

作力转变为电流》的论文。他深信：“这件事情是很有发展前途的，并将开创电磁方面的新纪元”。这篇枯燥的论文也确实隐藏着电气技术最重要的原理：从机械中获得大量电能的可能性。这里，西门子更象一位科学家。

今天，技术对科学的依赖更强了。技术已经变得越来越科学化。当今任何大型科技项目都不是哪一位科学家或工程师可以胜任的了。象赖特兄弟那样，从飞机的第一个螺丝钉到最后一个螺丝钉都要自己设计的时代已经一去不复返。改进技术，促进科学—技术—科学的循环已成了整个科学界的职责。

2·8 近代科学技术的 结构和求实的创造精神

现在，我们可以总结一下西方科学技术在17世纪后一系列循环加速过程出现的原因了，这是由于科学理论与实验以及技术之间形成了一种特定的联系。有一种结构保证着它们畅通无阻地进行。我们把它称为近代科学技术结构。它是由三个子系统组成的。其理论结构为构造性自然观，实验结构为受控实验系统，而开放性技术体系则是它的技术子

结构。这三个子系统组成一个相互促进的有机整体。它们之间的相互适应性，则是近代科学技术循环加速发展的内部机制（图2·8·1）。

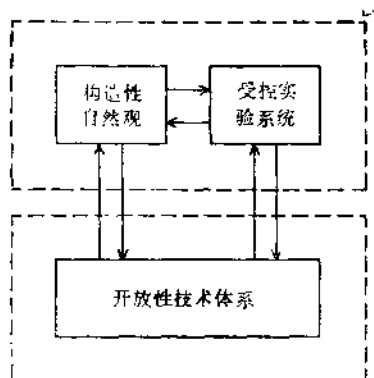


图2·8·1

西方在16、17世纪开始建立起以构造性自然观为核心的科学理论结构，和以受控实验系统为基础的科学实验结构。在这种结构中，实验对理论的鉴别效应和

理论对实验的指导作用大大加强了。科学理论和科学实验之间出现了相互促进的循环加速机制。它是西方16、17世纪科学革命出现的内部原因。18世纪，在近代科学结构和资本主义经济结构形成后，西方又建立了开放性技术体系，出现了科学和技术之间互相促进的循环加速机制。近代科学技术结构的确立，使得西方科学技术发展日益加速并超过中国。

我们在本章中着重讨论了近代科学技术结构，从中我们可以进一步得到一些很重要的结论。

其中，核心的问题是，什么是科学？科学技术怎样才能迅速发展呢？从我们的讨论中可以看出，离开了对近代科学技术结构的认识和内容，那么科学技术就变成一个零碎的各部类的知识和技能拼合。确实，当近代科学技术革命的巨大浪潮猛烈地刷新着人类的社会生活，深刻地改变着人们的思维方式时，我们特别需要的是从个别知识体系和生产奇迹中跳出来，从宏观的角度来把握近代科学技术结构。这样，我们才能理解科学的本质。

人们常常把科学和科学的具体知识混为一谈。这是因为科学知识是人对自然规律认识的运用。人们常常不由自主地用获得知识的本身，来理解科学。“牛顿力学”、“相对论”，“世界是由基本粒子组成的”、“电子计算机”，如此等等，科学往往被理解为它们的总和。表面上，这一回答似乎是无可非议，但从历史的眼光来看，它又很成问题，因为这些只代表人们现阶段的某些具体认识和技能。

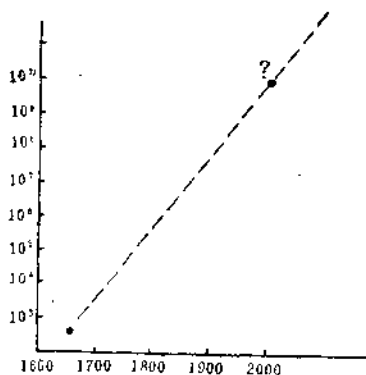
人类生活在历史的长河之中，河水流逝着，汨汨不断。我们对自然的认识也在日新月异地前进。只要我们站在人类文明的历史高度，就会发现，没有一个时代的知识体系能万古长存，没有一种曾经

被认为是非常“科学”的知识能经得起千万年时间浪头的冲击而保持不变。

两千多年前，我国伟大的浪漫主义诗人屈原对天空存在着一百个不解，他认为有必要专门写一篇“天问”的长诗来问天。他不明白太阳和月亮何以不坠，星宿何以嵌得很稳？中国古代天文学家提出了很多理论来回答这些问题，其中宣夜说和浑天说最为突出，宣夜说认为宇宙茫茫无限，浑天说提出了“鸡蛋型”宇宙构造模式，认为日月星辰嵌在天壳中运行。在古代，这些回答是有道理的，而在今天看来却很幼稚。众所周知，16世纪哥白尼的日心说是近代科学兴起的标志，但现代天文学的发展表明哥白尼学说认为太阳是宇宙的中心也并不对，实际上宇宙根本没有这样的中心。所以，如果我们仅仅用知识本身来说明什么是科学，那么我们今天视为科学的，在100年后，也可能被认为是不科学的。

科学家曾作过一个非常有趣的统计：过去300年间人们对宇宙年龄的估计是按指数增长的！从17世纪乌索尔主教的特殊考证开始，19世纪中叶亥姆霍次—开尔文（Helmholtz-kelvin）用引力收缩理论推算宇宙年龄，20世纪初期天文学家再次根据放射性数据重新确定宇宙年龄；20世纪中叶的宇宙膨

胀被发现，现在科学家是根据球状星团里恒星演化来估算宇宙年龄的。在这整整三个世纪当中，宇宙年龄的估计值是按照每个世纪 1.9 的对数增长率而作非常均匀的指数增长^①。也就是说，每 16 年增加一倍。令人惊讶的是，这恰巧和天文学进展的增长率大致相合。其实，我们大可不必为这条斜线感到惊奇。它恰恰证明了人类在任何一个时代对自然规律的知识本身并不能代表科学的全部意义。



估计宇宙年龄（年数）

图2·8·2 过去三个世纪人们对宇宙年龄的估计

① G.de伏库勒:《等级式宇宙学真相》,《西方宇宙理论评述》,科学出版社,1978年版第239页。

由于任何历史上的以至现在的科学知识体系都不能等同于科学，所以，任何学说只要不发展或不能发展，它就必然是凝固的，固守它就必然导致迷信。因此，人们又把科学理解为一种不断探索真理的过程。自然界没有也不会有最后的谜底，人不断把自己对自然的认识刻在时代的石碑上，用以纪录自己前进的历程。人在刻下石碑时已经开始离开石碑，去探索新的道路了。

这种对科学的理解虽然非常有吸引力，但却失之于空泛。如果把科学等同于一切追求真理的探索，这仅仅是道出了科学的一种精神追求，却又把它等同于发展了。那么，这种对科学的理解仍然不能解释，为什么只有在近几百年来科学才真正得到迅速发展，也不能弄清楚科学家在从事科学实践活动中所必须遵守的那些原则。

通过本章的分析，对于“科学是什么”这个费解的问题，我们可以从一个全新的角度去理解它。我们把近代科学主要理解为近代科学技术结构。科学知识的内容可以是千差万别的，技术工艺的发展可以是日新月异的，但是它们的基本结构是确定的，至今仍显示着强大的生活力。

在近代科学技术结构中，我们还可以看到一种

理论、实验和技术之间相互转化的求实的创造精神。它是在人类改造自然和社会时所表现的一种进步的精神力量。科学精神并不简单地归结为一般的创造性,而是基于科学技术结构的、遵循科学方法的一种创造精神。科学创造精神一方面促使科学家不断怀疑和改进已有的知识。但这不是盲目的怀疑,而是要求由受控实验来证实的。它是一种负责任的艰苦探索,而不是幻想家的一时冲动。

著名的理论物理学家Z.Y.Pomyerachuk在临终前,知觉稍为恢复,就要询问基本粒子理论的最新进展,并为每一个新的想法感到欢欣鼓舞。量子力学的奠基者之一泡利,临死以前还在研究精细结构常数 α 之迷。他为自己没有解决这个问题深深遗憾。人们曾编了一个故事说泡利的灵魂进了天国,请求上帝让他知道为什么 α 等于 $1/137$ 。上帝交给他几张小纸头说“这就是证明”,泡利接过去看了一遍,就操着德语说“Das ist falsch”(这是虚妄的!)——连上帝都挨泡利的批评。是的,伟大的科学家领悟真正的科学精神,他们渴望理解自然,但拒绝上帝给人类任何一种永恒的答案。

对于真正的科学家来说,科学就是不断把实验转化为理论、把科学转化为技术的求实的创造和进

步的过程。离开科学技术的合理结构，离开这种过程，离开这种不停顿地在社会需求压力下推陈出新的动力，科学就没有任何意义。

科学是这样，技术是不是也是这样呢？

众所周知，蒸汽机发明后，在19世纪20年代英国修建了历史上第一条铁路，它只有40公里长，火车时速为20公里。人们不信任它，把它说成是“踩着轮子的混世魔王”。今天，当浓烟滚滚的蒸汽机车在城市中开过时，它反而成为落后的象征了。技术只要不进步，它就会过时。

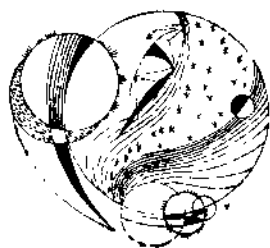
先进的技术固然很重要，但真正有意义的是技术进步的过程。而技术的飞速进步，只有靠近代科学技术结构才能保证。与其他各国古代技术相比，历史上中国缺少的不是一种在某一时代看来先进的技术，而是技术加速进步的动力。就拿中国2000多年前就形成的一套完备的驿邮系统来看，这个通讯系统是用人和牲畜、车船来传递信息的。2000余年间，正是依靠它，中央政府的统一号令能及时传达到幅员辽阔的国土的每一个角落。在400余年前，它还是世界上最为先进的通讯网络。但历史悲剧在于它是凝固的，当西方发明了铁路、电报，而中国的仍还是老一套。据说，19世纪末有不少人故意

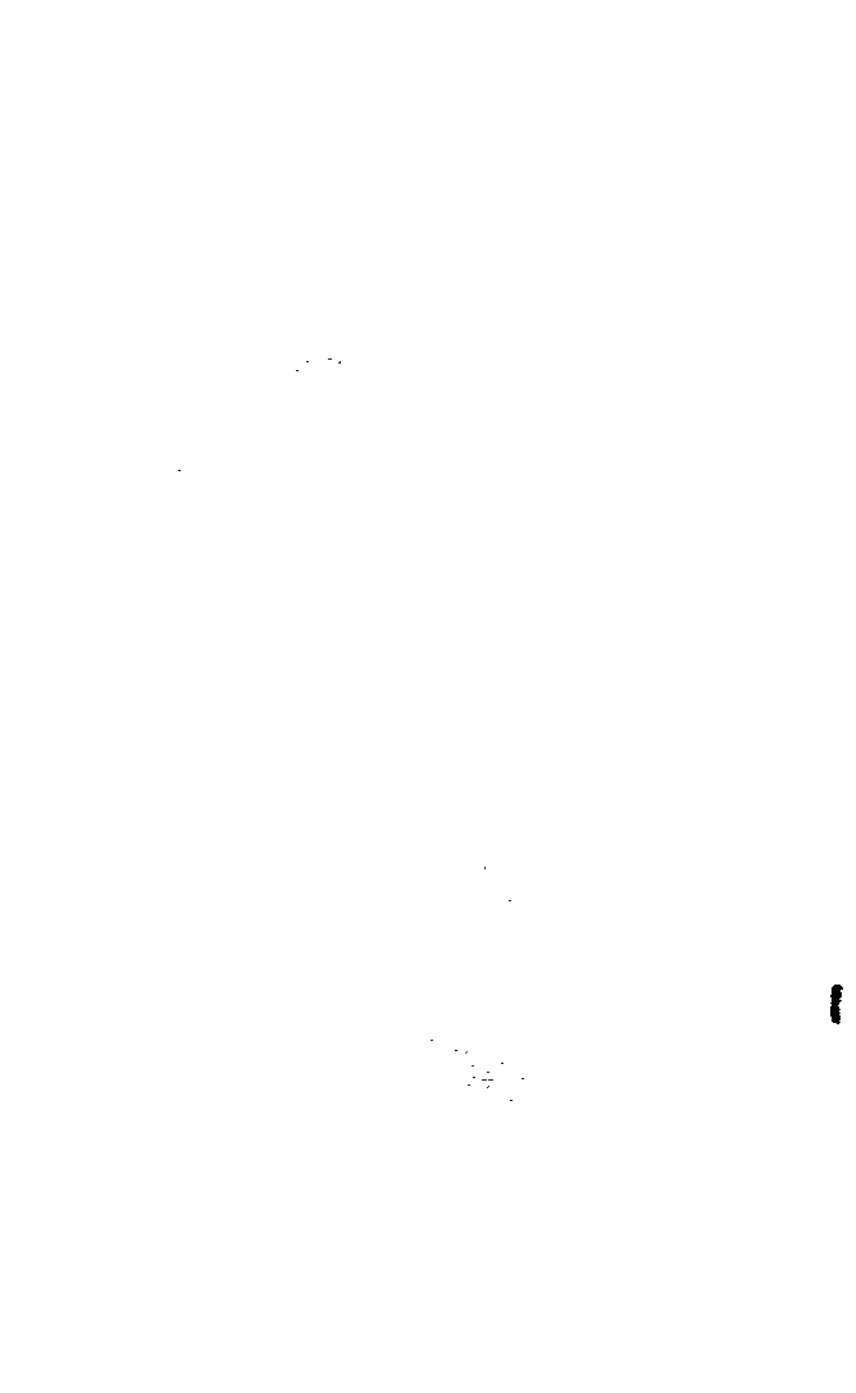
割断北京至天津的有线电报线，因为它威胁着驿站公务员的饭碗。管事的官僚却向朝廷大臣报告说，这种怪物破坏了风水，是老天爷毁坏了它们并借以警告不能再干那些有损于文明古国形象的事了。历史前进的步伐是这样的无情，它对于一个虽在2000余年间发挥了巨大作用但却趋于停滞的技术系统是毫不客气的。在短短几十年中它就被现代通讯技术瓦解和取代了。僵化的技术正如巨大的恐龙一样，它必然在历史的变迁中被淘汰，唯有有机地组织于近代科学技术结构的技术，才会飞速发展并不断创造奇迹。

明确了近代科学技术结构的特点，这仅仅是在科学技术内部寻找西方在17世纪后科学技术加速发展并超过中国的原因。为什么西方能确立近代科学技术结构，而在技术发达的古代中国却不能呢？这是深入一步的问题。在回答这个问题之前，我们还必须从历史上剖析科学技术的成长过程以及它和社会结构的相互关系。这正是我们在第三章中所要讨论的内容。

第三章

科学结构的起源





世界之树是不可毁灭的，它的根在上面，它的
头在下面。

——印度《薄伽梵歌》

3·1 一棵倒长的树

有一个著名的童话，一个孩子得到了一颗神奇的种子。他把种子种在家门口，晚上风雨大作。第二天，他发现种子已成长成大树，但这是一棵倒长的大树。它的根露在外面，巨大的枝丫一直伸到地下很深的远方。孩子顺着这棵树到地下去旅行，看到了许许多多古代已经被人们遗忘的事情。我们可以把这棵倒长的树比喻为人类的历史。

如果我们去追溯近代科学结构形成的过程，就

会发现，科学史也正是这样一棵倒长的树。树根就是我们上一章讲的近代科学技术结构。它把构造性自然观、受控实验和开放性技术体系组成一个有机的整体，保证了科学技术在其中的循环加速发展。但是这个结构怎么来的呢？它为什么在西方产生，而没有在中国出现呢？这无疑是最令人感兴趣的问题。

让我们和那好奇的孩子一样，顺着树到地下探求。从18世纪走到17世纪，从17世纪走到16世纪，我们发现树干开始分叉，科学结构和技术结构首先分开了。

再往下追溯，我们发现科学理论和实验又分开了。我们追溯到中世纪，一直到古代，我们会发现许许多多分叉。近代科学技术之树似乎是这许许多多分叉汇合的结果。封建社会向资本主义社会的转化为开放性技术体系健全准备了条件；文艺复兴又为工匠与学者的结合、受控实验结构的产生准备了条件……随着树叉越分越多，我们将陷于一片迷茫之中。因为即使我们找到了这棵树的每一片叶子，我们仍然不明白为什么树会成长起来。那么多的支流为什么会奇怪地汇合到一点而恰恰产生近代科学技术结构呢？

整体的东西只可能由原始的整体发展起来。一只只有头、有翅膀、有脚的鸡不可能由头、翅膀和脚单独发展最后拼成整体的。在鸡蛋之中，已经包含了整个鸡的结构，虽然它尚很原始，各个部分也不成熟，但部分之间的联系已经有了。这种联系就是原始的结构。

每一个孩子都知道，树是怎样长成的。首先它来自于一颗种子，种子中的遗传密码已经决定了树的发育和形态。但种子还不是一切，还需要阳光，雨水和土壤。

近代科学技术结构不正是一个有生命的系统么？它要求在科学理论、实验、技术之间建立有机而不可割断的联系；它要求科学理论必须是逻辑构造的，并且要自觉地从结构角度来分析自然现象；实验必须建立在受控过程的基础上，操作和观察要尽可能客观化、社会化并使用仪器，而且要自觉地把实验过程物化成仪器，仪器与构造性自然观互相结合。

近代科学结构的成长意味着这些原则慢慢被发现，为大多数科学家接受，并且形成以这些规范来从事科学研究的科学共同体。科学家研究的对象虽然千差万别，但他们建立理论、从事实验的原则却

是共同的。显然，特别是在古代，在充满迷信陷阱而认识自然的道路上，要明确受控实验的原则、建立起构造自然观绝不是轻而易举的事，至于要使这些原则为社会上大多数科学家所接受则更为困难。这里面有两个不同的过程，第一个是认识这些原则，它是方法论和认识论；第二是这些原则被越来越多的人接受，并变为实际行动。这就需要有经济、政治和文化背景的条件。

这样，我们可以把近代科学结构形成的过程分为两个阶段加以考察。第一阶段，人类首先在某一个特殊领域，一个最容易发现这些正确认识自然原则的学科中发现了这些原则。第二步，这些原则在一定的社会条件下不断扩大其影响，为社会上大多数科学家所接受。近代科学结构的形成好象晶体的成长一样，它首先形成一个类似于晶种的东西，也就是说必须在一个最容易进行受控实验和发现构造性自然观的领域中建立一种类似于近代科学结构的体系。我们将其称为原始科学结构。它之所以是原始的，因为和近代科学结构相似的规范虽然在这一学科中确定，但它没有上升到一般原则，并且和具体学科的内容还不曾分离，它的影响只局限在很窄的一个领域以及与这一领域有直接关系的学科。原始

科学结构在合适的社会条件下不断成长，不断扩张到越来越广阔的科学研究范围，最后形成科学结构，我们将其称为原始科学结构的社会化过程。研究为什么西欧在16世纪后能确立近代科学结构，就是去剖析原始科学结构形成及其社会化的条件。

3·2 原始科学结构：从地球为什么是圆的谈起

一个著名的诗人曾写道：“为什么人的头是圆的，因为地球和太阳是圆的。”这种对人的头脑形状自豪感绝不过分。因为对大地的认识正是原始科学结构的起源之一。正是在这里开始，科学的光芒从人的大脑中扩展开来，一直投射向宇宙。

自古以来，人们脚踏着坚实的大地，望着那每天从东方升起的太阳，看见灿烂的群星在天空运行，自然会问：大地的形状是什么样的？当旅行家从远方回来，告诉人们陆地终止于海洋的时候，就会有人想象大地是浮在海面上的，巨大的鲸鱼和海龟托着它们。不论古人对大地的形状作过多少精辟的哲学论述和丰富的想象，这一切并不代表科学的开始。巴斯德说得好，一个牧羊人的知识决不是科

学。同样，一个哲学家的思辨也不是科学。科学从一开始就和科学方法和结构不可分离。

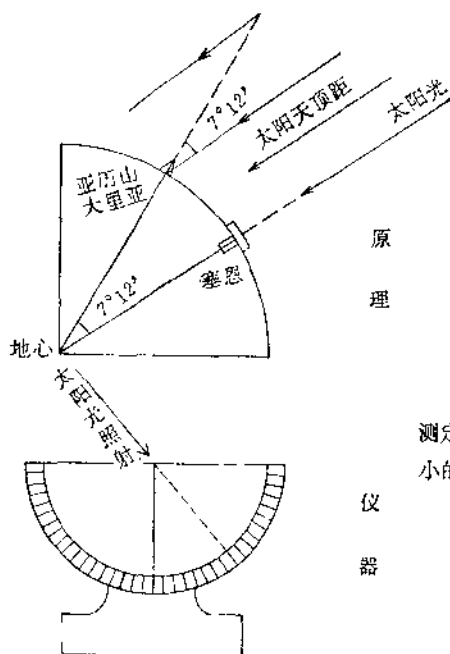


图3·2·1

埃拉托色尼
测定地球形状大小
的方法与原理

对大地形状的科学认识，是从古希腊科学家开始的。公元前3世纪，著名的古希腊科学家埃拉托色尼认为，地球是具有两极和赤道的旋转椭圆球体。他算出地球的周长是39,600公里，与现代公认的地球圆周长4万公里相差无几。这是一个惊人的

发现！一个两千多年前的亚历山大里亚城缪斯学院的图书馆馆长，怎么会有这样杰出的智慧呢？我们来看看他是怎样计算的。

埃拉托色尼的方法是这样的（图3·2·1），他首先假定亚历山大城和另一个城市塞恩处在同一子午线上。他知道夏至那天太阳光可以直射进塞恩一口干枯井的底部。这表明太阳刚好经过塞恩的天顶。于是他在同一天，用仪器测出在亚历山大城太阳的天顶距为 $7^{\circ}12'$ （也就是太阳光和垂线的夹角）。而 $7^{\circ}12'$ 是 360° 的 $\frac{1}{50}$ ，这就是说，亚历山大城和塞恩城的距离是地球周长的 $\frac{1}{50}$ 。接着，他又根据当时商队的估计，从亚历山大城到塞恩的地面距离约为五百希腊里。这样，这位古代天文学家算出了地球的圆周长。这里面没有一点神秘的地方。

虽然埃拉托色尼的仪器是简陋的，他得到的结果却是那么准确，这一切是多么了不起啊！要知道，古代大多数科学假说后来都被证明是错误的，但埃拉托色尼的结果和今天科学对地球的认识并没有本质的区别，这又是为什么呢？仔细分析一下埃拉托色尼的方法就可以找到答案。原来它包含着三个部分：第一他掌握了几何定理，并用几何知识进行

逻辑推理的方法；其次他有着测量仪器，它们虽然简陋，但毕竟是人类拥有的可控的实验工具，第三他利用了商队远征得到地理知识。古代商队的远征不是有意识的大地测量，但是他们所起的作用则是为科学家提供了只有某种测量技术才能得到的结果。

我们从中发现了什么？几何定理代表了构造自然观的理论结构，而用仪器进行对太阳光夹角的测量实验，无疑是受控的。商队测量两城间的距离（大地测量）可以看作计里技术。这种三位一体的关系和近代科学技术结构何其相似！虽然它还很原始，仅仅存在于一个具体问题之中，但这就是种子。答案找到了，古希腊科学家之所以对大地有正确认识，是因为他们掌握了和近代科学结构类似的原始结构。

那么，为什么这颗原始科学结构种子不在医学、炼金术中产生，却在古希腊几何学中出现呢？这就需要我们认真研究了。

3·3 欧几里得几何学的方法和体系

古代科学理论一般是宗教或自然哲学的一部

分，实验限于个别人的肉眼观察或简单仪器的使用，技术虽然存在于生产实践之中，但在大多数领域中，科学理论、实验和技术三者是互相隔绝的。从埃及人制造木乃伊的技术中，虽然唾手可得人体解剖的知识，但人们并没有把它上升到解剖学理论。显然，原始科学结构一定最先产生于一开始就不能把理论、实验和技术之间关系截然分割的特殊部门中。几何学正是第一个具备这种条件的领域。

在几何学中，相应的实验就是测量，空间测量无疑是一切科学实验中最容易成为受控实验的。当古人发明第一根尺，用拉紧绳子作为直线时，几何实验就开始客观化和量化了。有了测量仪器，对于同一段距离，同一个正方形，同一个角度，不同人测量都得到同样的并且可以亿万次重复的结果。而且，测量也是人类最早将实验与技术结合起来的领域。在古埃及，尼罗河的定期泛滥淹没了地界，使得土地测量成为一种最早社会化的具有经济目的的技术活动，这种技术具有相当大的开放性（在其可能达到的领域中），它不仅可用于物体测量，大地测量，也可用于天文测量，它不可能被严格地禁锢在某些特殊的测量对象之中。所以就几何学而论，它相应的实验结构和技术结构是容易建立起类似近

代科学技术结构中的规范的。

理论结构又如何呢？几何理论中的没有大小的点，没有宽窄的线，没有厚度的面，它的抽象和定义的确成功地忽略了物体众多的化学和物理性质，它最容易从空间结构的角度来把握研究对象。今天，许许多多古代科学知识体系都消失了，古希腊时期的欧几里得几何学却是一个例外。我们关于现实空间结构的知识并没有超出欧氏几何的范围。这恰恰表明，欧氏几何体系是在科学史上第一个建立起满足近代科学结构规范的体系。

在几何学的实验和技术结构中建立起类似于近代科学技术结构的规范是比较容易的，古代巴比伦、埃及、印度和中国都几乎独立地迈出了这一步。而建立构造性理论体系则比较困难。只有古代希腊人大致达到了这一点。图 3·3·1 表示欧氏几何理论体系建立的几个主要步骤。首先，古埃及发达的测量技术以及完备的测量工具为它奠定了基础。相传爱奥尼亚哲学家米利都的泰勒斯到埃及游历回来后，就想到可以根据土地测量的经验规则，建立起一门关于空间形式的理想科学^①。接着毕达哥拉斯学派发

^① W.C.丹皮尔：《科学史》，商务印书馆 1972 年版，第 82 页。

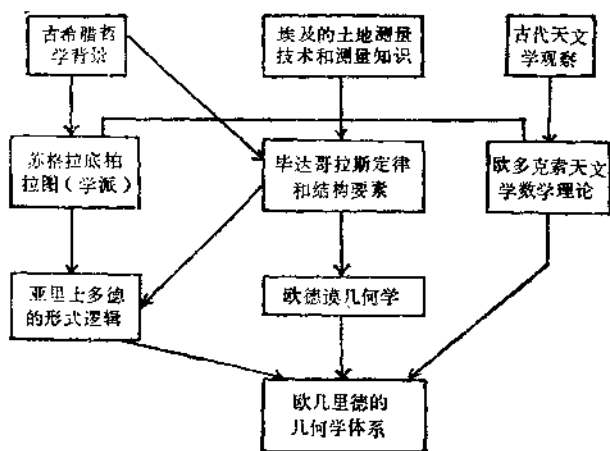


图3·3·1

现了勾股定理，并按照某种逻辑顺利地把已知定理排列起来，赋予理论体系某种结构性要素。从公元前320年欧德谟所著几何学史的残篇中我们可以看到，这种理论结构是怎样逐步完善起来的。在理性主义的古希腊哲学背景之中，亚里士多德发现了形式逻辑，它一方面是受到了正在形成的几何理论体系的影响，另一方面，形式逻辑的发现无疑把逻辑和构造结合起来，以至于古代伟大的数学家欧几里得最后能赋予几何学以一种明确的逻辑构造型理论体系。他所写的《几何原本》是人类历史上第一本真

正代表科学理论结构的教科书。今天我们在几何学中所必须学的公理、定理以及推导方法大都是这本书系统创立的。

在几何学中形成原始科学结构方面，古代中国所走过的道路和古希腊是不同的（图 3·3·2）。我们知道，就测量技术和测量仪器的发明而言，中国和西方一样早，被认为是中华民族最古老的神祇的女媧和伏羲是手中握有规和矩的。春秋战国时诸子百家的哲学起到了类似古希腊哲学对原始科学结构的孕育作用。李约瑟曾把“墨经”中有关的几何定

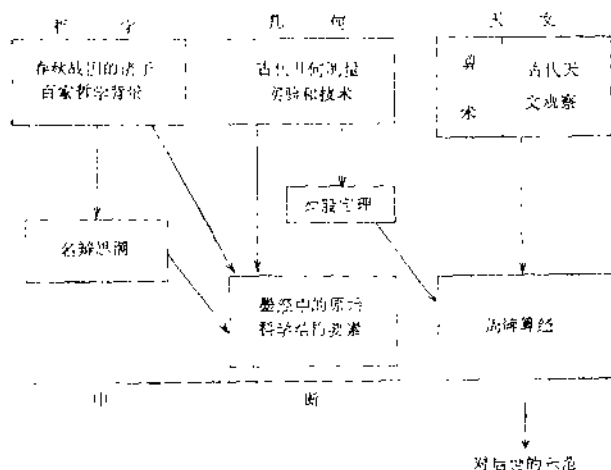


图 3·3·2

八和定理和欧氏几何原本作了对比，发现欧氏书中的许多定义和定理与“墨经”中的表述非常相似^①。但不幸的是，中国几何学中构造性理论体系尚未确立就夭折了。墨经并没有完成原始科学结构的建造。更重要的是，随着百家争鸣时代的结束，中国建立了大一统封建王朝，号称显学的墨家衰亡了，墨经从此被埋没在历史的尘埃之中，而几何学的知识被纳入到更为实用的天文学体系以及测量技术中去了，中国的数学理论模式几乎是以天文学和计算数学为中心而形成的。显而易见，就原始科学结构形成而言，天文学远比几何学不利，古代天文学中实验受控程度远低于几何，在几何理论结构本身不完备的条件下，由于天文历法的实用要求会促使整个数学（包括几何）朝着算术化的方向发展，其结果愈加不利于几何学中构造性理论体系的成熟。

正因为中国古代没有形成原始科学结构，中国古代对地球形状的认识就比古希腊落后。虽然就大地测量的技术和仪器而言，中国比西方更为先进。张衡和裴秀发明了绘制地图的网格方法，几乎可以同笛卡尔坐标系媲美，但张衡并没有提出大地是球

① 李约瑟：《中国科学技术史·第三卷》，科学出版社1974年版，第203—212页。

状的认识。唐政府曾组织过世界中古史上最大规模的大地测量,曾一行创制了一种简便的仪器“复矩”,得到“大率三百五十一里八十步,而极差一度”的科学结论,它相当准确,相对误差只有19%^①。元朝的耶律楚材已明确提出“里差”概念,提出了一个相当精确的经验公式,苏天爵又进一步提出了地方时的概念。如果仅仅从测量精度和技术来看,中国古代天文学家完全可以计算出地球大小的。但是中国古代连大地是球形的观点都没有明确提出来过。落后的盖天说到清代仍有人信奉。

科学是一个整体,没有与构造性自然观相结合,实验和技术再发达,也不能形成整体结构,即使在一个具体领域中也是这样。中国古代天文学家不可能把不同的结论结合起来构造一个简单明了的假说。他们在理解日食和月食时,可以明确指出它是太阳被月亮淹没或月亮被地球淹没所致,但这些结论孤立存在着,没有和大地形状理论有机地结合起来。由于理论结构中缺乏原始科学结构,所以尽管从唐朝一直到清朝大规模的大地测量一直在进行,但对大地形状的认识却并没有加速其进化。

^① 纽仲勋:《我国古代天文大地测量发展及取得成就原因初探》,1980年全国科学技术史学术会议论文。

为什么古希腊以欧氏几何体系为代表的原始科学结构的出现是这样重要呢？就人类整个科学知识内容来说，几何学只是沧海一粟，欧氏几何理论体系的意义并不在于人类在几何学中所掌握的知识本身，而在于明确了一种建立科学理论的模式。

我们在后面将指出，它为近代科学结构（主要指构造性自然观）的建立起到了某种模板的作用。而这种模板在科学史上只能最先在几何中建立，而不能在别的学科中建立。医学由于其对象过于复杂使得实验很难受控，天文学理论由于它本身的特点，决定了只有当原始科学结构在几何学中形成后，才能在其中建立类似几何的理论体系（古希腊正是如此）。否则，它会长期停滞在历法算术和混浊的原始宇宙模型之中。化学、生物学等由于它们在古代的理论、实验、技术三个系统的分裂和不完备，形成原始科学结构更为困难。

3.4 种子怎样成长：示范作用

古希腊时，原始科学结构虽然在几何学中形成了，但它毕竟是一颗尚未发芽的种子。种子不等于禾苗，更不同于大树。直接可用几何方法与原理

的学科是很有限的，那末原始科学结构怎样扩大到物理、天文等学科中去呢？它是通过一种特殊的途径：示范作用。

我国古代有一个著名的寓言。据说识别千里马的专家伯乐写了一本怎样找千里马的书——《相马经》。伯乐的儿子根据这本书去找千里马，结果却找回来一只癞蛤蟆！他认为癞蛤蟆完全符合书上所说的千里马的特征，搞得伯乐哭笑不得。这个“按图索骥”的成语嘲笑了人们按本本和教条办事。从认识论角度考察一下，这个寓言是意味深长的。我们可以设想，如果伯乐的儿子不是仅仅根据《相马经》去找千里马，而是牵着伯乐找到的一匹千里马，对照着这匹马去找千里马，那么至少他不会找一个癞蛤蟆回来。这里，第一匹千里马就是一个示范。

在科学研究的各个领域里建立正确的认识结构，正象许许多多人独立发现千里马那样困难。而一旦出了一个伯乐，他找到一匹千里马，并研究了它的结构特征，根据这匹千里马的示范去找别的千里马就容易得多了。原始科学结构对近代科学结构建立所起的作用，正是它确定了一种示范。

我们知道，近代科学结构是很复杂的，从系统

组织原理来讲，根据一种已有的模式（虽说比较简陋）去放大并建造一个模式相同的体系就比较容易。如果没有样板，要建立两个复杂而结构相同的体系，那就几乎不可思议。

而样板就是示范，根据样板去示范、去做就会导致原始科学结构的成长。

“示范”是不是依样画葫芦呢？不！科学的发展是不能按几何定理依葫芦画瓢的，示范是在科学精神指导下的创造，它是对方法论的勇敢探求，它是在千变万化的研究对象中遵循科学的原则，并在研究中发展丰富这些原则。为了说明这一点，我们来看一下古代伟大物理学家阿基米得的研究道路。

阿基米德，这位曾经从洗澡盆中跳出来，赤身裸体地跑到街上高叫着“我找到了”的古怪老人，人们是熟悉的。据说他在洗澡时发现了浮力定律而解决了叙拉古国王亥厄洛请金匠制造的金冠中是否掺银子的秘密。实际上，阿基米德是根据液体的性质用逻辑构造来推出浮力定律的。他的思想可以简略叙述为如图3·4·1所示的装置。上面是一个秤，液体中放着一个容器A，里面也充满同类液体。如果A的壁薄得可以忽略不计，秤上所示重量则为零。如果在A中换进一个形状和A完全一样的固

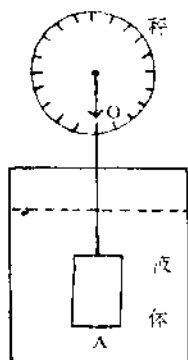


图3·4·1

体，秤所指示的量是多少呢？显然等于A的重量减去A中液体的重量。也就是说，一个固体在液体中受到的浮力等于它排开液体的重量。这个证明多么巧妙！在这种方法里，我们看到了与欧几里得几何理论的类似性。在几何中，先提出一些公理，然后用公理之间的构造性结合，推出定理。阿基米德

关于液体的性质不正是公理吗？关于液体的公理通过逻辑构造就推出了著名的浮力定律。阿基米德之所以会用这种方式在我们看来，和他接受了原始科学结构的示范有关。

实际上，阿基米德接受原始科学结构的示范不是没有原因的。他刚11岁时，就依靠国王亥厄洛的亲戚关系，被送到埃及的亚历山大城去学习。而欧几里得正是在这里开办学校，培养了一批通晓几何的专门人材。阿基米德是跟随欧几里得的学生埃拉托色尼及卡诺恩学习数学、天文学和力学。这位埃拉托色尼正是我们前面讲过的那位测量地球大小的天文学家。从欧几里得到埃拉托色尼，再到阿基米德，

徒弟的徒弟并没有固守老师的领域，他把方法扩大了，推广了。科学的火炬从几何学燃烧到静力学。

在阿基米德的许许多多发现中，杠杆原理是最著名的，它最突出反映了示范作用。阿基米德从

五个公理推出来

杠杆定律，这些公理众所周知：（1）

重量相等的重物加在离支点距离相等的杆上是平衡的。

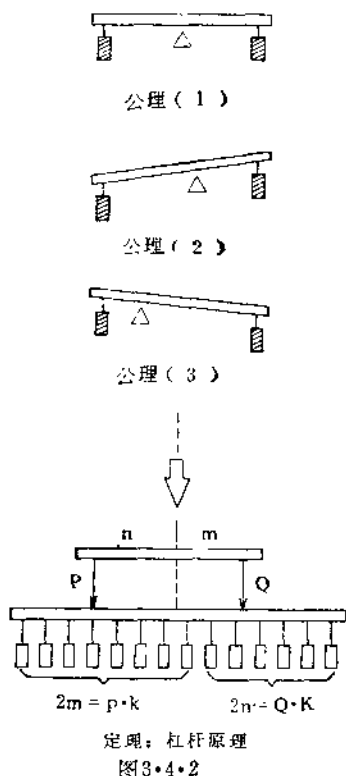
（2）重量不等的重物，加在离支点相距相等的地方，杆子就倾向重的一边

……（图3·4·2）。即使

在今天，从这些众所周知的公理中推出杠杆原理却不是

每个人都能想得出来的。阿基米德的构造性推理如

下：如果将重量分



别为P和Q的两个物体放在杠杆两头。支点应在哪里才能平衡呢？他设想用很多等重的重物代替P和Q，把它们均匀挂在一根杆子上（图3·4·2），显然，使两边平衡的支点在这根设想的杆杠中间。因为P、Q不相等，假定与P相等的重物占了杆子的 $2m$ 距离，与Q相等的重物占了 $2n$ 长度。显然P点重心在离杆左端 m 远的地方，Q重心在离右端 n 的地方。而平衡点离端点的距离是 $\frac{1}{2}(2m + 2n) = m + n$ ，于是可以算出P重物的重心离杆中的距离是 $m + n - m = n$ 。Q的重心在离杆中心 $m + n - n = m$ 的地方，于是就得到 $P:Q = m:n$ 。这就是著名的杠杆原理。

在阿基米德之前，人类应用杠杆已经数万年了，但杠杆只是一个支点加一根棍子。人类一旦从经验抽出公理，再从构造性理论体系推出定理，杠杆就可以转化为滑轮，螺旋……数不清的机械就这样发明了。阿基米德正是用它制成一套杠杆滑轮系统，轻轻地把亥厄洛王的大船拉下水去的。这就是科学！难怪阿基米德曾大无畏地宣称：“给我一个支点，我就能推动地球。”莱布尼兹曾经讲过：

“谁要精通阿基米德和阿波罗尼的创作。他对当代最伟大人物的发明就不会那么大惊小怪了。”莱布尼兹是对的。近代最伟大的科学家都是在原始科学

结构示范作用下进行创造的。伽利略的贡献是阿基米德道路的发扬光大，牛顿的划时代的巨著甚至连写作格式都在模仿欧几里得的《几何原本》。爱因斯坦整个相对论体系不就是从两个被实验证明的公理构造出来的么？但他们并不仅仅是固守旧原则，他们在创造中丰富理论的构造性，从而把它从一个简单的框架发展成辉煌的大厦。他们在无限丰富的世界中揭示了理论的构造美。科学的发展就是示范作用在创造中前进，在继承中光大！

3.5 两个同时在这世的古代天

文学家：张衡与托勒密

我们无须赘述欧几里得几何体系在其形成过程中和形成后对科学理论成长中的巨大影响，它在历史上曾先后出了近1,000种版本，这表明科学理论的传播常常是以它的翻译居先的。实际上，如果我们去分析古希腊罗马文明所达到的科学成就，就会发现其中最发达最具有现代意义的部分都是在它的示范作用下取得的，并且形成了共同原始科学结构学科群对后世科学家进行示范。

对近代力学和天文学起到奠基作用的圆锥曲线研究（它是微积分和解析几何的基础），实际上是

欧几里得理论体系的直接延伸。阿波罗尼的圆锥曲线论中487个命题，均是由几何原本10个公论所导出。几何光学的进展是原始科学结构示范作用的另一个例子。光学实验是人类最早进行的实验，但从这些实验中得到的类似于近代科学结论的，多数属于古希腊科学家。如托勒密就利用几何规范对光学进行了透彻的研究。他不仅给出了凹面镜成像的数学定律，而且还研究了折射，发现光线从一种媒质进入另一种媒质时，入射角与折射角成正比。这些结论和现代几何光学结论几乎完全吻合。

没有原始科学结构的示范，古代科学家能不能搞科学研究呢？当然也可以。他们能发现新的自然现象，能制造仪器，能创造新技术，也有不少天才的猜测。但他们所搞的不是具有结构体系意义的科学。这方面张衡与托勒密形成明显的对比。

托勒密（公元90—168）作为一个科学家，一生处于罗马帝国的鼎盛时期。众所周知，他系统地总结了古代天文学知识，提出了以本轮为基础的地心说，认为众星绕地球转动的同时，还绕着本轮的圆心转。在古代，本轮体系相当好的和天文观察吻合。托勒密给自己复杂精妙的天文学理论起名为《伟大论》。

我国伟大科学家张衡（公元78 -139）是与托勒密同时在世的人。从才干上讲，他比托勒密有过之而无不及。他集政治家、诗人、画家、科学家、仪器制造家于一身。生活在东汉太平盛世。他系统地发挥了浑天学说，测出了黄赤交角为24度。更为惊人的是，他制造出一台铜制的水运浑象。他把滴漏壶和浑天仪联在一起，利用漏出的水推动齿轮，带动浑天仪运转。人们在屋子里可以通过浑天仪看到和外面完全相同的天象。在《灵宪》中，张衡提出可以用行星运动的快慢来决定它们离开天空的距离。有人根据张衡的假说画了一张图（见图3·5·1），它与托勒密的地心说何其相似乃尔！而张衡制造的浑象简直就是一个物化了的托勒密地心说模型。按理说，从浑象到地心说只有一步之差，但这一步，不仅是张衡，而且后世任何一个中国天文学家从来没有打算迈出。为什么呢？一个重要的原因是：缺乏原始科学结构的示范作用。

托勒密则是用欧氏几何体系的示范来建立天文学理论。他首先必须选择能作为天文理论的公理的假说，他自然会把圆周运动看作是最基本的，然后用圆周运动的均轮和本轮建立了他的地心说。

托勒密在建立他的天文学体系时，不仅系统地

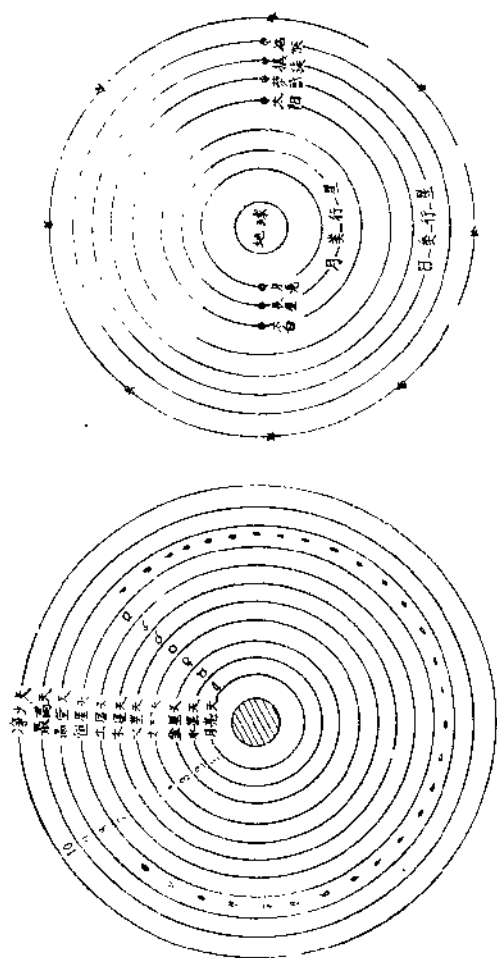


图 3·5·1 托勒密 (左) 与张衡 (右) 的宇宙模型

引用了几何学成果，而且在理论构造上也以欧氏体系为示范，他改进并发展了三角学。执意要把他的工作建立在“算术和几何的无可争论的方法”之上。他强调构造理论必须遵守的原则：“在解释现象的时候，采用一种能够把各种事实统一起来的最简单的假说，乃是一条正路。”他所强调的原则正是原始科学结构所要求的构造型逻辑体系。

由于天文学实验本身的局限，使得托勒密天文学理论不可能象欧氏几何本身那样直接成为近代科学的一部分。但是如果托勒密天文体系不以欧氏几何为示范来建立，它就不可能具有相当的逻辑构造型框架。托勒密天文学说本身固然具有种种缺陷和漏洞，但它至少是一个可以进行批判发展的学说。哥白尼正是在批判它的基础上，点燃了近代科学革命的火炬。

张衡的情况就不同了。他虽然理解日月星辰在作圆周运动，但由于没有原始科学结构逻辑构造型理论框架的示范，圆就不会被认为是基本的。中国天文学家的主要兴趣在于抽取行星运动的代数特征，即周期大小来建立天文理论，天文学变成了取周期数量公倍数和公约数的算术运算。这样，虽然从天文观察和计算来说，中国古代天文学家可以和

西方一样准确，甚至更为准确，但作为理论结构，它却是幼稚的，难于发展的。古希腊天文学比中国的更接近于近代科学。

3·6 示范作用的极限：古希腊科学的衰落

公元415年的四旬斋节，科学史上发生了一件令人毛骨悚然的悲惨事件：一个容貌端庄美丽的姑娘坐在马车上，一群基督徒拦截住了她。暴徒把姑娘拉进教堂，拔去她的头发，撕去她的衣服，用尖利的蚌壳割她的肉，砍去她的手脚投入火中……。这个姑娘就是亚历山大里亚著名的数学家希帕蒂娅。她是古代著名数学家塞翁的女儿。她最杰出的贡献就是协助父亲完成了欧几里得《几何原本》的评论和修订。流传于至今的《几何原本》中就有她的心血。

她犯了什么罪？她为什么引起了那些狂热基督徒的如此仇恨？她的全部罪行就在于她拒绝相信基督教。她遵循父亲的嘱咐：“一切形式的独断主义的宗教都是虚妄的，有自尊心的人绝不要把它当作终极的信条。”

希帕蒂娅的悲惨遭遇很典型地反映了原始科学

结构示范作用在古代社会所遇到的巨大障碍。科学和文化背景的冲突决定了科学结构成长的道路必然是曲折的。

我们在讨论原始科学结构通过示范作用不断扩大，并进而社会化而过程时，一直没有分析示范作用的重要前提，这就是科学对社会的影响。

示范作用是指科学家利用已在某一领域中明确的模式去搞新的研究，但有多少人在科学研究中运用这种模板，却取决于科学对社会的影响，取决于社会价值观念是否允许人们去利用示范！

今天，科学技术对社会的巨大冲击只是近代科学结构建立的结果。由于近代科学技术的循环加速效应，使科技成果如滚滚不绝的江水那样汹涌澎湃地奔泻出来，充斥到人类生活一切领域，这才使人们普遍认识到科学的意义。而在近代科学结构建立以前，社会上绝大多数人对科学了解甚少。科学的示范好象阳春白雪，它的声音在古代世界是如此微弱。特别是原始科学结构，它只是一颗深藏在众多的思想体系、学派及专门知识贝类中的一颗珍珠，虽然它有极为珍贵的价值，但它外面包围着一个坚硬的难以被人理解的专业性外壳，只有极少人才能识别它。

科学不仅常常和直观相矛盾，还和人们的宗教信仰、价值观念、思想方法相抵触。在古罗马虽然不禁几何学，但数学是不名誉的表征。它和占星术一起被法律所禁止。罗马有一条法律“数学的历程即是恶魔的行径”。在基督徒的心目中一个不按神的意志来思索的数学家和女巫、异教徒是大同小异的。中世纪教庭谴责科学是“科学之树欺骗了生命之树。”罗吉尔·培根的科学精神被教庭看作大逆不道。所以在一种普遍与科学相抵触的社会观念中，一个敢于用原始科学结构作为示范来指导研究的科学家，一定比鲁迅所说第一个吃螃蟹的人还要勇敢。他必须在普遍的不理解和敌视中坚持科学精神。由于原始科学结构发展到一定程度就会和一般文化背景相抵触，我们就不难理解古希腊科学衰落的原因了。

在古希腊罗马奴隶社会中，部分自由民和奴隶主悠闲的生活条件以及开明的理性精神，是原始科学结构能在一个小范围内发挥示范作用的条件。这种示范主要限于科学理论结构，而对受控实验示范就几乎不存在。因为它和奴隶制社会结构相冲突。在奴隶主和自由民那里，做实验被认为是不光彩的，普鲁塔克曾谈到两个希腊人用仪器来解决数学

问题受到了谴责，哲学家认为他们在污染思想。阿基米得虽然制造了很多仪器，但在奴隶社会中，制造仪器并不受到社会的尊重。据记载，阿基米得常为自己制造仪器而感到羞耻。欧几里得态度则更明确，据说有一个青年拜欧几里得为师，问他研究几何的目的是什么，人们可以得到什么好处？欧几里得听到这话后，立即转身对一个奴隶说“给这个人三个阿宝尔（货币名称）他想靠几何学发财呢！”还传说，亚历山大湾内法罗斯岛上的灯塔中有一块玻璃，通过这块玻璃可以看见视野外远方的船只，这实际上是最早的望远镜。康福德说：如果希腊哲学家放弃对机械技术的偏见，制造一部望远镜的话，科学史的面貌也就不一样了。但在奴隶社会的价值观念中，这是不可能的。受控实验结构示范作用很难社会化！技术是掌握在奴隶手中的，奴隶被看做会说话的工具。罗马一个皇帝曾拒绝用机器搬运安放到地上的神殿大柱，因为那会使搬运工失去工作。

这样一来，虽然几何学建立的原始科学结构在某种程度上包含了受控实验和开放性技术原则（它们是在成千上万年实践中积累起来的），但在奴隶社会结构中几乎不能发挥任何示范作用。古希腊原

始科学结构的示范主要是欧几里得理论体系的示范。这样，到了罗马帝国时，这种示范作用必然很快就发展到它的极限，古希腊科学发展也必然渐渐陷于停滞状态。

很多科学史家用罗马人重视技术而轻视科学来解释古希腊科学在罗马全盛时代居然会停滞之谜。实际上当托勒密用欧氏几何理论的示范完成他那划时代的“伟大论”和光学实验后，原始科学结构已完全占领与它有直接关系的一切科学领域，示范已到极限状态，古代科学家已经几乎没有什么可做的了。

3.7 示范作用在古代社会 中所遇到的三大障碍

古代科学体系（包括原始科学结构）的示范作用，在社会中要遇到三大障碍。第一大障碍就是我们在上一节中所叙述的，科学技术发展到一定程度就要和它的文化背景发生冲突。在一个重视理性精神而轻视技术的古希腊奴隶制社会里，科学的发展是受到限制的。

科学体系的示范作用所遇到的第二个巨大障碍，是由于科学体系本身的专门性和复杂性所带来

的。技术虽然也是专门的、复杂的，但古代技术由于存在着相当的社会需求而社会化了。一般说来，古代社会对科学的需求比对技术的需求小得多，特别对于纯科学更小。

因此，科学示范作用的传递很困难。中国封建大一统帝国对天文学的需求，使中国天文学家比世界各国有更高的社会地位。但即使在中国，天文历算毕竟太复杂了，很多知识分子钻研一辈子都没有最后搞懂。张衡在《应闲》中感叹道：有人担心我搞这套东西没有用，我还恨不能把这套东西教给别人呢？另一个著名的例子是郭守敬创造了授时历，可以说达到了中国古代天文学的顶峰，但他的方法到了明朝居然连官方天文学家都难以理解。

《庄子·列御寇》里有一个故事。有一个叫朱评漫的人，拜支离益为师，学习屠龙的本领，结果，他耗费了三年时间，用尽了千金家产，终于学成了。但由于这种屠龙之术没有什么用，他受到世人的嘲笑。用屠龙之术这个典故，来比喻纯科学在古代普通人心目中的地位，是再恰当不过的了。它不仅很难学，而且看来不大有用。这样，科学在广大社会中的示范作用自然很弱，社会化是很难的。实际上，东汉就有人把张衡的学问看做屠龙之术。

古希腊科学家根据原始科学结构示范算出大地是圆的，但对于大多数人，并不相信这种结论。因为这和人们大地是平直的直观印象相矛盾。

中国古代浑天说的传播也遇到类似困难。《晋书》中有这样一段话：“此则仪象之论，其来远矣。绵代相传，史官禁密，学者不覩，故宣、盖沸腾。”这段话一语道破了中国官方天文学家在传播浑天说时所感到的苦恼。他们认为由于天文仪器保密，社会上一般学者得不到，不能进行天文观察，所以盖天说盛行。实际上，根本原因在于：浑天说虽和实验观察比盖天说符合，但离直观却比盖天说远，它们传播就来得困难些。天文理论尚且如此，其它科学理论传播特别是方法论上的示范遇到的障碍更是可想而知了。

原始科学结构示范作用的第三个大障碍是通讯技术的不发达。思想的社会化需要通过出版和印刷，跨地域的科学交流需要发达的通讯渠道。

今天，我们在生活中有时还可以听到，在夸奖某人学问多、知识渊博时，就说他“学富五车。”这个成语出自一个典故。据说，战国时一位叫惠施的著名学者外出时，要把他的书装好几车带出门去。其实，他带的书在我们今天看来并不很多。主

要是那时的书太笨重了，文字是笔书在简牍上的。所谓简，就是竹片；而牍则是木片。秦始皇每天批阅公文重达一石（当时为120斤）。西汉武帝时下诏征天下贤才，一个叫东方朔的名士写了一篇文章，抄这篇文章用了3,000多片竹简，由两人抬进宫去呈献。

纸产生以前，无论中国还是外国，知识交流都很困难。古埃及是把文字写在纸草纸上。赫梯人把楔形文字刻在泥板上。这几种交流工具中纸草纸较便宜，古希腊的科学中心之所以在亚历山大城而不在希腊本土。这和那里盛产纸草纸是分不开的。在那里得到科学书比古典希腊本土容易，那里不仅是商业中心，而且是古代图书复制品最大的市场。亚历山大的图书馆藏书达70万卷，主要是埃及的纸草。即使这样，能使用纸草书的人毕竟很有限。而且纸草易磨易碎不好保存。亚里斯多德的《雅典政制》一书分抄在4个纸草卷上。罗马帝国初期，李维写了1,000余万字的《罗马史》，这样的巨著用纸草卷抄下来，也要放好几个大柜子。因此，用正规的纸草卷抄录的大书，价格仍很昂贵，购求和安放均极为困难。当时，家中拥有几柜书就可以显示富豪的身份了。可以想象，在这样一种通讯技术背景

上科学示范的扩大几乎是很困难的。用纸草和羊皮纸书写的手稿只能供极少一部份特权人物使用。

这一切决定了古希腊科学只可能是奴隶主花园中的一朵小花。它被愚昧的荆棘所包围着。它的种子不可能传到比花园更远的地方。科学社会化程度是这样的小，所以，当社会结构面临变化时，当战争的风云逼近的时候，当象阿基米得这样的科学家被盛怒的士兵砍倒时，脆弱的原始科学结构就面临着威胁。

罗马帝国衰落，基督教兴起，整个古代西方社会文化背景发生了根本性变化。奴隶主自由民的古代宗教以及相应的理性主义精神消失了。对上帝的虔诚代替了哲学家对自然和人生的思索。封建制度代替了奴隶制度，对于社会来说，这是一个进步。但古希腊科学之花得以生长的土壤也随着古代社会解体而流失了。皮之不存，毛将焉附？

亚历山大图书馆被烈火焚烧，柏拉图学园被下令关闭，本身已经奄奄一息的科学之花也就枯萎了。基督徒把一卷又一卷的记载着古希腊科学成果的羊皮纸刮得干干净净，重新用来书写圣经。在当时这无疑被认为是废物利用。能够理解古希腊科学规范的人（是极少一部分人）已经死去了，能够容

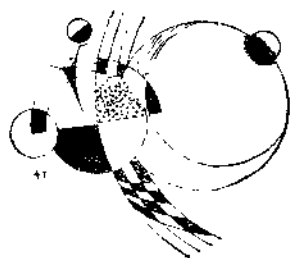
想这一小批人生存和活动的社会制度和价值观念也已经变化了。匠人们在荒芜已久的四通八达的罗马官道上建筑起哥特式教堂，另一种社会结构在社会激变中兴起。

我们并不能谴责历史。因为原始科学结构在古希腊罗马的社会化程度实在太小了，人类社会在进步中必定要遗忘一些东西，如果这些东西包含着并不那么不引人注目的古代科学，这又有什么可奇怪的呢？

理解了科学社会化过程中必然会碰到的三大障碍，我们就能用这些障碍的大小来估计科学在历史上某一文化背景中所占的位置。不同的社会结构所允许其相应的科学社会化规模是不同的。科学的成长必然随着社会结构的改变而变化。两千年来，中国社会结构和文化背景没有出现过从古希腊罗马到基督教文明这样大起大落的变化，所以科学的发展一直是连续的，没有大跌宕。古希腊罗马文明虽然结下了原始科学结构的种子，但这颗种子是不可能古代西方社会长成大树的。历史注定科学的成长要走一条更为曲折的道路。

第四章

近代科学 技术的成长



光明来自东方。

EX Oriente LuX.

4·1 光明来自东方：科学属于全人类

远古的人类对黑夜是恐惧的。今天印度的古诗还保留着古人对白天的依恋之情。他们常常对着下山的太阳唱着赞美歌：“太阳呵，美丽的太阳完全消逝在西方了……”。人们担心第二天早上太阳是否仍然升起。公元6世纪前后，科学的太阳在西方世界已沉到地平线下面，开始了中世纪的长夜。古希腊的科学成果几乎被人们忘却，愚昧的宗教信条、禁欲主义笼罩着西方。

太阳在西方下山后，它的光芒会出现在东方。科学的火一经点燃，就不会熄灭。中世纪初，原始科学结构的种子被阿拉伯人接了过去，在那里保存、发芽。特别是中国，科学技术一直在发展，并处于世界领先地位。正当西方原始科学结构示范遇到不可克服障碍之时，伟大的中华民族积累着伟大的创造，这就是四大发明。

公元751年，是科学史上非常值得纪念的一年。倒不是因为这一年发现了一条伟大的定律，而是爆发了一场战争。战斗的一方是阿拉伯大食帝国，另一方是中国的唐朝。唐朝大将高仙芝指挥这一战役，结果打得惨败。大约有数万士兵被阿拉伯人俘虏。在这数万人中就有不少造纸的工匠。从这时起，西方用羊皮纸和纸草来传播科学成果的时代开始结束，工匠们把中国先进的造纸技术及其他重要技艺传到了阿拉伯，又从阿拉伯传到西方。原始科学结构获得了传到世界每一个角落所必须的翅膀——纸。

如果没有造纸技术，那末亚里士多德和托勒密学说靠羊皮纸来传播，其范围是可想而知的。8世纪后，伟大的冲击接踵而来。中国又发明了印刷术，特别是活字印刷术。对于原始科学结构的示范

作用，活字印刷的贡献更为巨大。如刻司马迁的《史记》，雕版就得用2,675块木板，费资1,450两银子。有了活字，成本就大为降低。而活字印刷无疑对拼音文字更有利。

活字印刷术传到欧洲后，到1474年，数学、天文学以及占星学等方面的书籍就以印刷品形式出现了。特别值得指出的是，活字印刷术立刻被用来印欧氏几何原本。康普尼斯（Johannes Campanus 13世纪）所译的几何原本拉丁文版，第一版于1482年出现于威尼斯，接着阿波罗尼的科学著作，巴伯斯的著作，士奥费多斯的算术以及其它科学作品均以印刷品形式纷纷出世。从活字印刷在西方出现，到欧氏几何的活字印刷版发行只有短短的32年，可见印刷术对传播原始科学结构示范作用的贡献。

罗盘和火药对原始科学结构建立的贡献则不言而喻。航海技术一直是西方科学传播有力的杠杆，而火药除了它是一种摧毁封建城堡、使社会成为一个更大的政治经济统一体的物质武器外，它同时使中世纪的物理学家开始意识到抛物体研究对于火炮制造和使用的意义。而抛物体研究则直接使原始科学结构的示范作用第一次完全脱离几何、静力学与光学，而直接渗透到力学的领域。

英国的弗朗西斯·培根在评价这些伟大发明时，非常中肯地说：“它们改变了世界上事物的全部面貌和状态，又从而产生了无数的变化；看来没有一个帝国，没有一个宗教，没有一个显赫人物，对人类事业曾经比这些机械的发现施展过更大的威力和影响。”

这一切说明一个真理，就是科学发展是势不可挡的。冬天来临，种子在沉睡。它的进一步成长需要不同的文明来孕育。种子在等待着伟大的创造，以使它能突破示范阻碍的外壳。它需要文明的交融和新的社会结构的土壤。

在人类历史上，每一次表面上的后退几乎都酝酿着进步，即使对中世纪社会环境也是这样。基督教的兴起虽然带来了禁欲主义和神学迷信猖獗，冲失了古希腊科学花园的土壤，但它也破除了奴隶制度对示范作用的枷锁。

基督教作为对奴隶制的否定，它至少在教义上填平了把处于奴隶主地位的学者和作为奴隶的工匠之间在上帝面前的鸿沟，从而便造就了一种思想基础，它使得原始科学结构中受控实验结构在以后有可能发挥示范作用。基督教把手工劳动看作阅读虔诚的著作、使自己接近上帝的精神生活的一部分。

正如小林恩·怀特所指出的：“中世纪修道士无疑是第一批人数很多的指甲下有污垢的知识分子”。

匠人和学者的鸿沟一旦在宗教上首先被扫平，那么随着技术的进步和积累，日复一日，年复一年，不断扩大的匠人队伍和学者队伍就开始自然交汇了，自然这需要漫长的时间。当然，仅仅凭着劳动作为锻炼意志来接近上帝的修士是不足以建立受控实验结构的。但是一旦中世纪学者在禁欲主义的长袍下发现了美丽的肉体，他们的兴趣就从天堂转入到现世，那么这种潜在的潮流马上会汹涌澎湃地奔泻出来。文艺复兴之所以会迅速完成受控实验结构的建立，其秘密正在于此。

其次，基督教占统治地位后的西欧，正在缔结一种文化交流、生产水平比古希腊罗马更广泛的社会共同体。基督教教义无疑比罗马自由民的尚武精神能把更多的人组织起来。8世纪发明的重犁和三圃轮作制使得农业能养活更多的人口，从中国传来的新轭马法和马蹄铁普遍应用，导致农业技术和交通运输的革命，促使了小村庄的衰落和都市式生活的大农业村落的兴起。

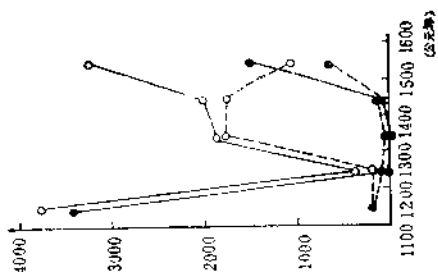
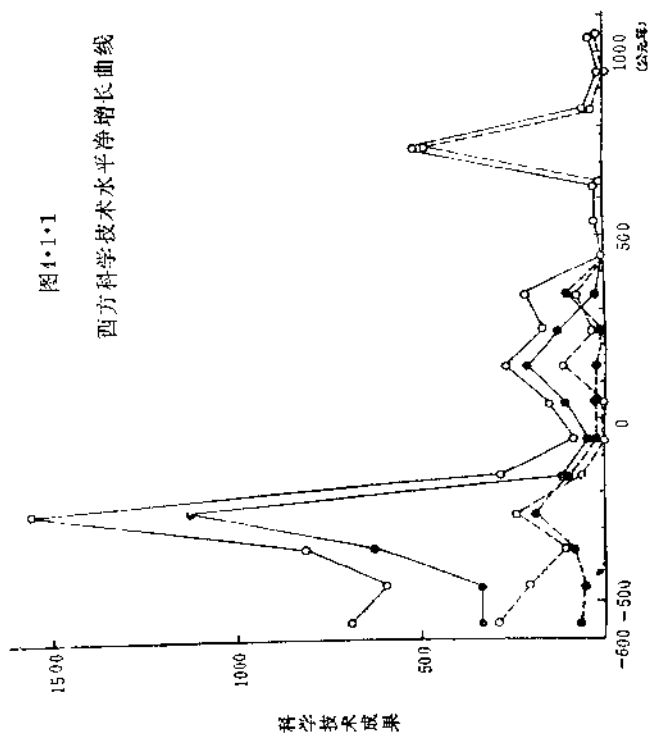
确实，就原始科学结构示范的社会土壤来说，11世纪后基督教文明比古希腊罗马文明更为肥沃

了。一个明显的例子是11世纪后大学的兴起。第一所大学是11世纪末在意大利建立的博洛尼亚大学，接着英国的牛津大学，意大利的劳勒诺大学、巴勒摩大学，西班牙的萨拉曼加大学，德国的海德堡大学，法国的奥尔良大学，英国的剑桥大学相继成立。这些大学大多是由教堂学校转变而来。其中巴黎大学最著名，学生来自四而八方，数以千计。1200年左右，大学、教堂和修道院如繁星一样，密密麻麻地散布在整个基督教文明之中。

所以，一旦11世纪后，保存在阿拉伯人手中的原始科学结构在东西方文明接触中再次传到西方时，科学之树就如雨后春笋般成长起来。

总之，西方中世纪后期原始科学结构示范作用的增强，是由于西方中世纪特殊社会结构与中国创造的通讯技术克服了其内在障碍的结果。理解了这一点，西方两千年中科学技术水平净增长曲线就可以得到明彻的解释。

我们知道，西方科学技术水平净增长曲线（见图4·1·1）自古希腊罗马文明衰落后一直处于低水平，但在8—10世纪有一个技术高峰，这是中国的造纸术传到西方引起的。在12—13世纪，有一个理论水平的增长高峰，这是和阿拉伯文化接触后造成



的大翻译带来的。在14—15世纪又出现了新的技术发展高峰。这一个高峰主要意味着指南针、航海、火药以及印刷术在欧洲的发展。显然，只有经历过这三个高峰，西方才可能出现15—17世纪标志着近代科学新发展的高峰。如果没有历史上的这三个发展高峰为基础，近代科学结构在西方出现是不可能的。

这样，一个发人深省的问题自然而然摆在科学史家面前：近代科学结构是否能在一种孤立而单一的文化背景（或社会结构）中出现？回答是否定的。中国创造的通讯技术是和中国封建社会特殊的大一统形态相适应的，它只能产生在中国这样的社会结构之中，而原始科学结构示范的扩大同时又需要与基督教文化相适应的封建社会结构。近代科学结构建立的内在条件几乎包含着本质上的二律背反：它既需要欧洲中世纪后期的那种社会结构，又需要中国封建社会那种完全不同于欧洲的封建社会结构所提供的技术。这一切无非表明：科学是属于全人类的，原始科学结构本身的出现，也是古埃及文明和古希腊文明融合的结果。它的成长也是一样，必须集中融合全人类一切民族所创造的精华才能发展。因此，哪一个地区哪一个民族能够汇聚这些精华，它

就会成为原始科学结构社会化的发源地，如果这些条件都消失了，那么科学就会夭折或者转移。

4·2 宗教与科学奇特的关系

在古代社会里，科学是少数知识分子所掌握的，它在社会上的影响不大。而宗教却是一种组织社会的普遍的精神力量。这造成了科学成长过程中宗教与科学的奇特关系。

古代科学家的命运和朱评漫差不多。作为屠龙之术的古代科学外面包着一层“专业化”和“不太有用”的外壳，这种对示范作用的束缚如果不被某种社会力量冲破，那么原始科学结构即使有了社会条件和示范传递的通讯工具，也很难迅速社会化。因为对科学最可怕的莫过于“社会对它不感兴趣”。这样示范作用只局限于支离益、朱评漫这样一些怪人中间，近代科学结构不可能健全。

示范作用专业化障碍被宗教和科学之间奇特的关系所产生一系列社会效应克服。这就是早期宗教对科学的吸收和后期与科学的敌对！

科学史家常常不厌其烦地强调文艺复兴对近代科学结构建立的作用，这当然不错。但是科学史上一

个十分重要的阶段常常被人们忽略，这就是文艺复兴前两百年经院哲学的高度繁荣。历史表明，没有这一阶段近代科学结构的建立也同样是不可思议的，因为它标志着原始科学结构被纳入基督教体系。人们一提起中世纪基督教文明中的科学，就会想到亚里士多德的学说，会说托勒密的本轮如何如何，实际上，西欧知道亚里士多德和托勒密是12世纪以后的事情。

把古希腊系统的科学知识加以消化并使它能包容到基督教文化体系中去有两个条件：第一，和阿拉伯文化接触，大量古希腊罗马时期的科学著作和阿拉伯古代科学成果被翻译介绍到西方；第二，基督教把古希腊亚里士多德哲学及其他自然哲学吸收到它的教义之中，这样原始科学结构种子也被带进基督教文化体系。

这一功绩主要归之于杰出的神学家托马斯·阿奎那。他是意大利一位伯爵的儿子，写了一本名著，叫《神学大全》。在他看来，神学是一门科学，是可以理性推出的。当然，神学不可能是科学。而神学一旦被打扮成科学，科学就可以在其中占一席之地。虽然起初她只是一个婢女，但她已不是坐在灶下脸上涂着煤黑难以被人发现的灰姑娘了。阿奎

那依照亚里士多德的逻辑学和神学权威对基督教理论进行全面的改造，摈弃了古希腊思想中和基督教不相容的部分。阿奎那的工作做得如此细致，以至于把亚里士多德学说改造得连细节都与神学相符合。他还接受了托勒密的天文体系。基督教也吸收了盖伦的医学理论以及很多古希腊科学思想。自阿奎那以后，西欧的经院哲学趋于全盛时代。

如果仅仅以科学内容的传播来说，阿奎那的工作并不值得格外称赞，他并没有真正理解古希腊的原始科学结构，他甚至把古希腊科学精神给阉割了，在其中加进神学的胡说、偏见和迷信。亚里士多德学说也不是原始科学结构，但它的体系庞大得可以包含了原始科学结构。阿奎那奠定的经院哲学，为近代科学结构建立准备了条件。

为什么呢？如果不把古希腊科学和基督教义结合，原始科学结构和基督教文明是不适应的，它也就不可能在中世纪后期起到广泛的示范作用。阿奎那的工作造成了一种历史性的结果：原始科学结构的珍珠被镶入了一个更大的可以让其进一步成长的基督教文化珍珠贝中了。亚里士多德学说，托勒密体系和盖伦的医学成为基督教自然观的一部分。哪里有基督教，哪里就会传授学习这些学说。本来科

学是专门化的，是难懂的，但现在却成了人们必须接受和研究的教义。宗教吸收了科学成果，使宗教一时变得强大了，但它也把科学的种子传遍了它们所及的每一个角落。如果仅仅靠古代科学本身的力量，是绝难做到的。宗教虽然暂时阉割了科学，但是也使原始科学结构的示范作用有可能克服它的专业性障碍。科学的种子就广泛地撒播到更远的地方，使它有一天能发芽、成长、开花结果。我们知道，到1200年左右，亚里士多德的各种著作已经家喻户晓。如果作为思想家的亚里士多德能知道他那在古代颇为深奥、只为少数门徒接受的学说会这么快地社会化，一定会目瞪口呆！

这是不是说基督教是直接有利于近代科学结构建立的呢？实际上，它和一切文化结构一样，示范作用也有一个极限。这就是科学不能和它矛盾。科学一旦被宗教吸收后，一个微妙的机制开始触发，一系列放大程序就开动起来了。随着宗教的一天天衰落，这些种子就开始发芽成长。这时科学和宗教发生了对立。科学发展的敌人：“社会对它不感兴趣”，早期被人们对宗教的热诚所克服，而后来又 被宗教和科学的斗争造成的社会影响所战胜。

原始科学结构每壮大一步，都必然和教义相矛

盾。它引起统一教会的反对，而这种反对立刻又引起了社会的注意，结果出现了这样的历史性进程：科学掀起了反对它本身的狂风暴雨，而狂风暴雨传播了科学的种子。确实，只有统一教会才能掀起整个社会注意到科学的狂风暴雨。宗教为了扩大自己的力量利用过科学成果，结果科学借助它的力量传播了自己的精神，教庭为了战胜不再服从神学的科学，把科学付与火刑，但人们却发现了科学的价值和力量。

结果，在这场人和神的战斗中，科学革命的熊熊烈火席卷了整个欧洲。

4·3 科学革命时期示范作用的扩张

1543年，伟大的波兰科学家哥白尼在临终前，发表了他的《天体运行论》。在科学史上，人们往往把这一年称为近代科学革命的开端。具有时代特征的是，发动这场思想革命的哥白尼就是个教人。一辈子在寺院供职的哥白尼提出的学说，把地球从宇宙的中心降至一颗普通的行星，从而贬低了作为上帝之子、万物之灵的人类的高傲地位。教人哥白尼打击了宗教教义的核心理论之一，在欧洲掀起了

一场思想革命。在这场思想革命中，科学的示范作用迅速扩张着。宗教与科学的对立，是科学革命时期示范作用迅速扩张的一种思想背景。

本节，我们仍局限于思想背景来讨论问题。必须指出的是，16世纪欧洲社会内部已产生了政治的、经济的和思想上的资本主义成份，这是科学革命的社会背景。限于篇幅，本书不可能在这里展开讨论这一社会背景。

哥白尼学说的方法，直接是中世纪已扩大的原始科学结构群示范的结果。哥白尼在《天体运行》中声明这本书是为数学家所写的，它很难读。要不是托勒密地心说是宗教的教义，很难设想一本专业性很强的天文学专著会有这样大的社会影响。我们当然难保作为天文学家的伽利略和开普勒一定不会去读它，但如果没有与宗教的对立，作为医生的哈维肯定不会认真思索它的。

我们知道，哈维发现血液循环完全是接受了哥白尼学说示范的结果。他从天体作循环运动，太阳是宇宙的中心而认为血液也在作循环运动，心脏是人体的太阳。哈维能接受这一示范的重要原因可能要归之于哥白尼学说与宗教对立造成的社会影响。实际上，哈维的工作并不是原始科学结构示范的终

点，它又进一步引发了示范的放大作用。哈维推翻了作为教义的盖伦学说，这样它的影响大大超出了医学和生理学。当时整个欧洲都在议论哈维学说，甚至连大学生中和戏院舞台上都出现了有关血液循环的事件。

如果没有宗教和科学的对立造成示范的放大，示范的连锁是不会持续下去的。科学上的发现即使做出来了，由于它高度专业性往往被限定在特定学科之中。我们知道，早在15世纪，阿拉伯医学家就对盖伦学说提出批评。有一个叫伊本·阿尔—纳菲（1201—1288）的医生，他从大马士革到开罗主持那西里医院，他就指出心脏的隔膜很硬，不象盖伦所设想的那样有细孔可以让血液通过。他认为血液必然要通过肺从右心室流到左心室。实际上他已经提出了血液小循环理论。由于盖伦的学说并非伊斯兰教的教义，所以阿拉伯人对这种学说以及对与之相对的学说都是宽容的，既不格外重视，也不特别反对。结果，纳非的学说没有产生什么影响，他的著作到本世纪才被人发现。^①

在什么条件下，宗教和科学的对立会放大科学

① 斯蒂芬·F·梅森：《自然科学史》，上海人民出版社1977年6月版，第89—90页。

的影响?我们前面说过,原始科学结构的成长会和社会结构文化背景发生冲突,带来示范作用的极限。实际上,宗教和科学的对立只有发生在宗教自身的衰落时期,科学才能通过宗教的反面教员而扩大示范作用。宗教处于全盛时期时,即使科学与宗教相对立,宗教可以轻而易举地扼杀科学的传播。罗吉尔·培根就是例子。他差不多是阿奎那同时代的人。今天,科学史家都把罗吉尔·培根看做近代实验科学的祖师爷,是他把火药最先介绍给欧洲人的。但正如科学史家丹皮尔所指出的“他一生的悲剧,一半是内心的悲剧,一半是外在的悲剧”,他处于经院哲学全盛时代,虽然他比阿奎那更接近于近代科学,但在那个时代他和宗教的对立除了给他本人带来迫害和社会的不解外,并没有发生多少影响。^①

而一旦宗教与科学的对立出现于宗教自身趋于衰落、旧社会结构趋于瓦解时期,情况就大不相同了。人们对腐朽的教会和僵化的教义的怀疑,造成了旧文化背景的四分五裂。原来占正统地位的意识形态已不是铁板一块了,特别对于那些思想活跃的渴望创造的知识分子,它明显缺乏吸引力。整个社

① 丹皮尔:《科学史及其与哲学和宗教的关系》,商务印书馆1975年9月版,第145—150页。

会的思想真空造成了科学趁虚传播的大好时机。一些人把中世纪经院哲学的衰落看作是科学与宗教斗争的结果。把科学兴起看作宗教衰落的终极原因，这实际上是本末倒置的。在一个以宗教占主导地位的社会结构中，科学的力量与宗教相比是太弱小了，它完全不能构成一种对宗教的普遍的怀疑。

在哥白尼迟疑不决地把《天体运行》交出版以前，波澜壮阔的宗教改革运动已经开始了，路德和茨温利的名字已传遍整个西方世界。宗教改革是宗教衰落的标志。从宗教改革的那些主要目标可以明显看到，当时基督教义已和生动活泼的社会经济政治和文化发展不相适应，特别是统一教会已经腐朽。那些新教徒本身就代表了对旧意识形态不满的社会力量，他们很容易被吸引到科学的营垒中去。1873年法国植物学家阿尔方斯·德·堪多的科学史名著《科学与科学家的历史》中，就曾对这一点作了精彩的分析。他统计了自1666年建立巴黎科学院后两个世纪中，外国人当选为其成员的数目，指出法国之外的科学家选入巴黎科学院的新教徒比天主教徒多6倍以上。^①

① 斯蒂芬·F·梅森：《自然科学史》，上海人民出版社1977年6月版，第162页。

人们自然会进一步问，宗教的衰落又是什么原因造成的呢？我们前面已简略地提到，这是由欧洲社会结构自身的演变所决定的。11世纪，欧洲开始陆续出现一些相对独立的^①城市。这些新兴城市作为自给自足的庄园经济的对立物，开始孕育着新的政治、经济、文化因素。以后，文艺复兴的火炬点燃了，人的自我意识开始觉醒，逐步形成了人文主义的思想潮流。这一潮流首先发生于文学艺术领域。这时，宗教统治日益显露出它的腐朽黑暗，波澜壮阔的宗教改革运动兴起了。也就是说，社会进步的历史潮流，是宗教必然趋于衰落的动力。科学是在宗教的衰落中成长，这只是宗教衰落的结果之一。

科学革命又加速了宗教的衰落。科学的示范作用正是在这种社会背景和思想条件下，才显示出势不可挡的强大生命力。

4·4 示范扩张的一种机制：否定性放大

这一节里，我们分析一下在宗教衰落时期，宗教和科学的对立造成科学示范扩大的机制是很有意义的。由于旧制度的不断衰落，有识之士对僵化的旧思想体系的普遍怀疑，这种怀疑必然促使他们

去研究被宗教所反对的学说究竟是什么，甚至仅仅凭着对僵化和腐朽的旧体系的反感而盲目接受新体系。我们把这种效应称为否定性放大。为什么叫否定性放大？因为绝大多数人并不是因为理解了科学新学说的正确而接受科学示范的，而仅仅是由于科学是对经院哲学的否定而接受科学的。

哥白尼学说的广泛传播是否定性放大的典型例子。近年来，不少人对哥白尼学说传播的历史背景作了研究，特别是著名科学史家库恩。很多人都指出，如果仅仅凭和实验观察相符合程度而言，当时哥白尼学说并不比托勒密学说更正确。特别是在惯性定律和万有引力没有发现前，哥白尼学说甚至和很多显而易见的直观现象相矛盾。只有闭眼不见哥白尼学说和现实矛盾的人才会信奉哥白尼学说。实际上，社会上大多数信奉者是由于哥白尼学说和宗教的对立。

我们知道，新教徒特别反对中世纪世界观中的等级观念，这种等级观念在自然观上表现为宇宙间布满一连串等级不同的人 and 物，处于世界边缘的上帝是最高等级，而地上的不完善的实体则处于较低等级。哥白尼说学至少在暗地里否定了地上事物的等级，他把以前作为天体的特权象征的圆周运动也

给予了地球。哥白尼的学生莱蒂克斯明确否定了高级天球统治低级天球的观念。这种学说无疑对新教徒很富有吸引力(图4·4·1)。象吉伯特这样的大科学家就明确意识到哥白尼学说的传播和否定传统等级

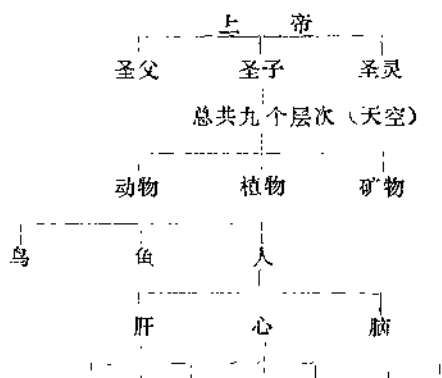


图4·4·1 基督教关于世界的一分为三等级层次

表4·4·1 科学对基督教观念的一步步否定

基督教在科学中的假定	托勒密	哥白尼	开普勒	牛顿
天空是完美的, 地球是不完美的	接受	否定	否定	否定
行星作完美的圆周运动	接受	接受	否定	否定
天使推动着行星	接受	接受	接受	否定

观念的内在联系。无疑哈维、刻卜勒、罗伯特、费拉德、范·赫尔蒙脱等都在这种否定性放大效应的社会潮流中改变了对日心说的态度(表4·4·1)。

其实，早在哥白尼日心说之前，托勒密和权威的亚里士多德学说已处于思想敏捷的学者的普遍的怀疑之中。这种情况在经院哲学占统治地位的时代中是没有过的。哥白尼的老师波伦尼亚大学教授马利亚·德·诺瓦腊批评托勒密体系太繁杂，不合于数学和谐原理。1536年，即在哥白尼著作出版前7年，Ramus在一篇著名的论文中说“亚里士多德所教的一切皆伪。”^①实际上并不是亚里士多德学说中一切都是错的，在哥白尼、伽里略、牛顿一系列革命性突破之前，没有足够的根据得出这一结论。Ramus只是凭着一种对经院哲学反感的否定性情绪作出这一断言的。

实际上，伽利略本人也是在这种否定性放大气氛中完成自己不朽的发现的。我们知道，古希腊就有望远镜，一直到13世纪工匠们不断生产透镜以供远视人用。但透镜还没有作为观察仪器进入科学领域。经院哲学对用透镜观察存在着一种根深蒂固的

^① 贝尔纳：《历史上的科学》，科学出版社1959年版，第114页。

错误观念：“以视觉为基础的无权成为科学。”^①当透镜中的象是变形的，而且有色散，在其光学机制没有搞清楚之前，这种信条貌似有理。当伽利略用望远镜来观察天体时，并不能证明这一古老信条是错的。而伽利略从拿到望远镜起，就根本没有怀疑望远镜看到的東西是真的。因为他在感情上倾向于哥白尼学说，他要用望远镜来证实哥白尼学说。对于他来说，能证明哥白尼体系的就是真的。所以当他把望远镜指向夜空，发现太阳黑子、木星卫星和月亮上的山脉时，立即欣喜若狂地写下了这些话：“我惊呆了，我无限感谢上帝，他让我想方设法发现了这样伟大的、多少个世纪都不清楚的奇迹。”

如果要搞清楚望远镜原理，证明观测物是真的后才去使用，望远镜就很难使用到科学研究中来。对于那些经院哲学信奉者，望远镜看到的東西没有任何意义，他们使用望远镜的目的是为了否定它。甚至连开普勒这样的大师都是为了去证伪而用望远镜观察的。但开普勒毕竟是接受了原始科学结构示范的人，他经过10天实验，才开始相信伽利略是对的。这促使他去研究望远镜机制，写了一本《屈光

① V·朗奇：《视觉科学发展中的复杂性、迷展和设想，正在发现什么？》《科学与哲学》1982年第1期。

学》的书，奠定了几何光学的基础。这段历史告诉我们，科学的成长，特别是示范作用通过否定性放大需要一定的时机，这就是旧社会结构的瓦解，新社会结构在对旧结构的批判和否定中兴起。没有否定性放大的力量，科学结构的社会化就很困难。

4.5 社会对科学的容量

我们从理论上来总结一下原始科学结构成长为近代科学结构的机制。这种机制很象一个古老神话所讲的道理。一个渔夫在海里捞上一只沉重的铜瓶。瓶塞上有所罗门王的咒语。渔夫打开了瓶塞，一阵浓烟之后，一个巨人站在沙滩之上。这个巨人就是近代科学，而瓶子是社会结构，渔夫代表克服原始科学结构示范作用障碍的动力。当巨人被束缚在瓶子里的时候，它还是原始科学结构。而释放它的动力则是中国的四大发明和否定性放大。否定性放大是怎样一个渔夫呢？我们设想神话可能有两种结局，一种是由于渔夫害怕巨人杀死自己又把巨人骗回瓶中，重新投入大海。另一种可能是巨人从此为渔夫造福。这两种结尾恰恰反映了否定性放大的两种可能结果。

否定性放大是一种盲目的动力，它只是表明当旧有结构瓦解之际，旧意识形态结构的危机必然给形形色色新思想传播造成有利时机。特别是人类的价值观的转化有一种反其道而行的内在节奏，当一种原来被认为神圣不可动摇的信仰失去生命力之际，一个时期内人们在感情上会倾向于和原来相反的东西。当腐朽的宗教过份强调权威时，整个社会会出现“反权威”倾向。当旧理论死守迂腐的教条、禁欲主义完全扼杀人性而主张赎罪时，人们会主张人文主义的个性解放，甚至原谅情欲放任……。基督教对罗马帝国的否定借助过这种力量，而人文主义对基督教的否定也借助过这种力量。它是人类文明推陈出新的一种精神力量。但是这种否定性放大是否一定能造成近代科学结构的建立，这就要看条件了。否定性放大是缺乏明确方向的，人们在感情上一时倾向的东西并不一定是正确的东西。否定性放大可以推动众多的思想体系，甚至促使病态的邪说发展起来。在那历史上动荡激变的思潮中，常常鱼龙混杂、泥沙俱下，昙花一现的学说很多，浮云般掠过的人物常常和真理、科学家混淆在一起。

否定性放大要能导致近代科学结构的健全，最重要的是要求旧社会结构瓦解时，在其中形成的新

社会结构对科学的发展有着比旧结构更大的容量。因为每当旧社会结构占主导地位的意识形态衰落之时，代表新社会结构的意识形态还在兴起，并慢慢地发展到主导地位。如果新结构的文化背景和旧结构一样和科学规范是对立的，那么虽然在旧社会结构瓦解之时，否定性放大效应推动科学繁荣了一阵子，随着新社会结构稳定后，否定性放大作用消失了。由于新社会结构同样与近代科学结构相冲突，那么就会重新对科学的社会化进行遏制。

确实，西方16世纪后兴起的资本主义社会对科学结构，比基督教封建社会有更大的容量。所以当资本主义社会结构在西欧确立后，否定性放大效应虽然消失了，但资本主义社会结构中科学示范作用以一种新的形态在扩大，比如科学共同体的形成，信仰自由的保证以及大学和商人甚至资产阶级政府在科学中所起的作用，这一切都使否定性放大效应扩大了的科学示范继续下去，最后导致近代科学结构稳定的建立。

用一个新的更大容量的社会结构连续平稳地取代旧结构对于释放科学巨人是十分重要的。它要求社会结构转变时不出现毁灭性大动乱。科学在历史上并不象人们吃饭、穿衣、生存那样是每时每刻不可

缺少的活动。但没有稳定的社会秩序，人类社会是难以维持的。在社会秩序毁灭瓦解之时，最先的牺牲品往往就是地位脆弱的科学。我们前面谈到古希腊罗马文明向基督教文明的转变，古希腊科学成就被扫荡得干干净净，这和几百年中社会秩序的大动乱直接相关。中世纪封建社会结构比奴隶社会有着更大的容量，这个更大的瓶子并不是马上就准备好的。它实际上经历了500年左右的铸造过程。在这其间，科学被淹埋了，并转移到阿拉伯人手中，西方出现了科学的倒退。

近代科学结构成长的机制给我们什么启示呢？它揭示了一个深刻的哲理：不同的社会结构对科学技术的容量是不同的。科学技术作为人类社会文明的一部分，必须和社会结构相适应。当它们适应时，科学技术便成长得快，而到了容量的极限之际，科学技术结构便被束缚了。当代西方科学家对科学技术发展的种种担忧正是出于这个原因。

虽然资本主义结构的容量比封建社会大得多，但科学技术巨人的成长已受到社会的束缚，尖锐的对抗已使人们感到危机。西方资本主义社会结构本身没有力量使巨人生长到更大的空间中，于是科学和社会的对立从各个方面表现出来：科学观和西方

人文主义伦理原则不适应，和人们道德规范不适应。科学技术造成的巨大生产力和资本主义经济结构以及私有制不适应，科学的全人类性质和东西方文明的壁垒以及民族情绪的对立不适应，核武器的破坏性和敌对的社会阵营不适应……如此等等。这表明西方资本主义社会结构已经不能驾驭现代科学技术。所以西方某些悲观论者怀疑科学是否永远能造福于人类。他们害怕科学技术的高速发展导致的冲突，会引起社会结构容器在冲突中炸毁，科学技术也同归于尽！

科学是创造的过程，科学不进步就要死亡！这一切只不过表明，人类需要一种更深刻的驾驭科学的智慧，需要比当年人文主义者创立资本主义社会更伟大的创造，这时全人类都把希望的目光转到东方，转到那个当原始科学巨人被束缚在铜瓶中时用四大发明打开瓶塞的伟大民族——中华民族。

是的，理解了科学巨人成长的过程，可以为我们解决近代科学为什么没有最先在中国产生这一难题投以一线光辉。它将促使中华民族去进行历史的反省。只有这样，她才能承担第二次解放科学技术的重任！

伟大的创造来于科学而又历史地认识自己。

第五章

中国近代科学 落后的原因





我依然顽固地去探索祖国历史的秘密，对
象从北坡去攀登一个高峰，因为从小这就是我
的梦想。

——阿兰·佩雷菲特

5·1 谜中之谜：伟大的发明为什么停滞了

1969年，阿波罗登月飞船在月球表面徐徐降落。第一次登上月球的人遥望着悬挂在天空的那蓝色的故乡，宇航员惊奇地发现：在月球上明显可见的地球上的人造工程就是中国的万里长城！

长城，我们古老而伟大民族的不朽纪念碑，也是中国古代科学技术的象征。今天，人类已登上了别的星球，但当他们回过头来追溯那些伟大发明

的起源的时候，却发现了一个古老而悠久文明的存在——中国古代科学技术！

是的，征服星空的火是从这里点燃的。中国人不是最早梦想登上月球的民族么？那嫦娥奔月的美丽神话，那吴刚伐桂的仙境，引起历代多少诗人对月吟诗。我国古代科学家不仅是想象、而且确实是在这么干了！大约在公元1500年前后，明代有个叫万虎的人把自己绑在一个特制的架子的前部，架子后部是47支当时最大的起花（一种火箭），然后叫人把47支起花同时点燃，他自己手持扇子用劲煽动空气。一阵巨响和浓烟后，这位勇敢的人连同他的飞行器都被摔碎了。这次失败的试验意义重大。它和现代发射宇宙飞船出于同一原理。世界上的科学家们称万虎为“第一个企图乘火箭飞行的人”，并以他的名字给月球上的一座环形山命名。中国古代有多种与此类似的飞行器，甚至还出现了两级火箭。据记载，明代火药箭种类达100余种。但是，第一个登上月球的却不是中国人。当历史正在把“起花”变成枪炮，把大炮变成导弹，把导弹变为航天飞机的时候，几百年来中国的火箭和花炮仍然是老样子，伟大的发明停滞了！

19世纪，西方列强用兵舰和大炮轰开了古老中

华帝国的大门，最使当局头痛的正是殖民者的“船坚炮利”。当清朝手持大刀、身着“勇”字马甲的士卒，与西方列强的洋枪大炮拼搏流血牺牲的时候，有多少人去思考过：西方殖民者手中的武器是从哪里来的？

他们或许没有想到，它最早曾出现在中国道家术士的炼丹炉中，后来又在能工巧匠的作坊中，甚至成长在皇家规模庞大的古代兵工厂中。是的，制作火药在我国唐代时就逐步发展成为一种专门技术。宋代则建立了专门生产火药和火器的工厂。当时火器是抵御西北少数民族进攻中原的有效武器。北宋“霹雳炮”、“震天雷”等火炮在抗金战争中大显威力。到12世纪上半叶，管形火器（枪、炮）开始出现。元顺至三年（1332年）铸造的铜火铳，是世界上已发现的最古老的铜炮。明代火器已普遍用于军队武装和训练。但是，时光流逝，这一伟大的发明在中国仍然是停滞的。到后来，它的主要用途甚至沦为驱鬼辟邪的鞭炮了。

今天，人们常用“知识爆炸”这个词来概括科学技术的发展。即便是一个专业范围很窄的科学家，如果想要了解本学科的进展，他每天至少要阅读2000页以上的文献。全世界每年出版的各种书籍

已近60万种，各种期刊和出版物也有10万余种，每年仅科学论文就有500万篇发表。但是，知识爆炸又是怎么开始的呢？没有中国人发明的纸和印刷技术，这么庞大数量的科学技术情报就不可能顺利地刊行和交换。活字印刷技术是我国宋代庆历年间（1041—1048年）布衣毕昇首先发明的，他用胶泥刻成单字再烧结成活字，接着我国还陆续发明使用木活字，元代初年就出现了锡活字，比德国最先使用金属活字要早一、两百年。此外，我国还通行铜活字，明代常州甚至还出现了铅活字。

古代，我国的图书馆是世界上最先进的。皇家图书馆的藏书浩如烟海，民间也有爱书如命的藏书家。唐代官封邺侯的李泌就是其中之一。大文豪韩愈赋诗赞美他：“邺侯家多书，插架三万轴，一一悬牙签，新若手未触”。看来李泌已经用牙签对三万轴图书进行了分类。而明代毛晋，私人藏书竟达84,000余。据清代末期叶昌炽的《藏书记事诗》中统计，我国北宋至清代私人藏书家有1,100多人。但是古代先进的印刷技术和庞大的图书馆却没有在中国造成科学知识的爆炸！即使印刷术，在中国发明后，也趋于停滞了。鸦片战争后，西方先进的铅印技术传到我国，并迅速压倒了我 国古老的雕板和

固有的各类活字，成为现代印刷术的主流。

难道没有中国的指南车和提花机，西方的计算机能迅速发展起来么？慈禧太后看到外国人进贡的自动自鸣钟惊奇不已，她根本想不到中国古代的水运浑象出于同一原理。然而当西方的钟表技术正在为近代机械工业奠定基础的时候，中国依然还是运用水运浑象和刻漏。

科学理论不也是一样吗？近代科学革命在西方是从哥白尼开始的。哥白尼学说最重要的观点之一就是大地在运动。他在《天体运行论》一书中，曾用水上行船的例子来说明地动。他写道：“当船只平静地向前漂移时，外界的一切东西都象是在运动，其实是船在运动，而船里的人却感觉到他们自己和船上的一切都是静止的。”十分惊人的是，早在哥白尼前1000多年，我国古代《尚书纬·考灵曜》一书中，就有地动的思想，甚至所用的比喻都和哥白尼完全一样：“地恒动不止，而人不觉，譬如人在大舟中，闭牖（窗户）而坐，舟行而人不觉。”正当西方基督教残酷压制包括地动说在内的思想时，中国的学者文人始终可以自由地谈论地动说。

汉代才华出众的学者扬雄在他的《太玄经·玄摘》中把宇宙定义为：“闾天谓之宇，辟字谓之

宙”。宇是空间，以闾天即硬壳之内的范围为宇，而宙——时间，则是以开天辟地为起点。这一套想法用现代的语言来说，就是宇宙是有限的，时间是有起点的。这似乎和当今关于宇宙大爆炸学说的认识有些相近。元代有个不信儒、道、佛，号称三教外人的邓牧，他提出过宇宙无限的类比思想，他说：“天地大也，其在虚空中不过一粟耳”。又把我们看见的天地比作树木上的果实，他说：“一木所生，必非一果，一国所生，必非一人，”他反对“天地之外无复天地”的说法（《伯牙琴·超然观记》）。这种看法，在射电天文望远镜极大地扩展了人的视野后，得到证实，我们太阳系不过是银河系中的亿万个恒星中的一个。

但是，在几百年中，从哥白尼到牛顿，从牛顿又到康德，星云说代替了太阳系是宇宙的中心，现代又提出了宇宙大爆炸学说。而在中国，天才的猜测依然是猜测，它们也是停滞的！

一位外国学者写道：“当欧洲还笼罩在黑暗年代的阴霾之中，中国的官员就已经精神抖擞，乘着装有指南针的轻便马车，到各地去参观装置着固体燃料的探空火箭的一些天文研究中心。一千年之后，欧洲科学家在发动工业革命时，中国官僚却还在迈

着固定的方步。相形之下，他们已经不那么精力充沛了。”^①

在科学史上，这种“墙内开花，墙外香”的例子比比皆是。为什么伟大的发明往往在中国首先出现，但以后却又停滞了？中华民族不是一个没有科学的民族，中国人是热爱科学的。否则我们就不理解当世界处于神学笼罩的黑暗年代，许多伟大的发明为什么会在中国出现。古代中国不可能没有它自己的科学技术结构，因为科学发展最困难的一步是中国人迈出的！当西方原始科学结构示范作用碰到几乎无法逾越的障碍的时候，示范作用所必须的基本传递工具——纸与印刷术是中华民族提供的，而且只有中华民族提供了！历史的责任要求我们去研究这蕴育着伟大发明的结构。

5·2 四大发明为什么在中国产生？

为了剖析中国古代技术结构，我们来看一个实例：四大发明之首“纸”是怎么在中国产生的？

^① [美] 戴维·博达尼斯：《为什么现代科学在中国不曾发展起来》，《国外社会科学》，1980年第1期。

巴尔扎克在他的名著《幻灭》中有一段故事，有两个校对员打赌，一个说中国纸是用植物纤维造的，一个说是用动物性原料造的。二人相持不下，于是请来位专家评判。这位专家说：“你俩说的都不对，中国的纸是用捣碎了的竹子做成纸浆制造的。”事实上，这三个饱学之士都说对了一方面，也都不全对。纸，这个微妙而不寻常的东西，有了它，知识的积累就容易得多。有了它，一个人的思想很快就会被千万个人所知晓！古人怎么能想出“纸”来呢？它并不是象“石油”、“矿产”那样自然界本来就有的东西，人类只需要开发和利用它们。它也不象“陶罐”、“玻璃”那样，是人类在利用火的时候，可以偶然发现其妙处加以制造的东西。历史证明，自从人类进入文明社会后，“纸”的发明比铁器，织物都要晚很多，也困难得多！为什么纸是由中国人发明出来的呢？

先看看“纸”这个字，它有一个“糸”字旁，是不是它和丝有什么关系呢？历史上，纸的发明，确实和丝技术有微妙的关系。这也许是为什么纸是在号称“丝国”的中国发明的原因吧。

纸和丝的关系有两个方面。第一，在战国时代就出现了一种称作“缣帛”的书写材料，它是按照

书写需要裁好的丝织品。它很轻便，但价值昂贵，很难普及。第二，我国古代没有棉花，人们穿衣这种基本需要是仰仗于丝、麻的种植和加工技术。蚕茧加工过程中有一道工序叫“漂絮”，要把蚕茧浸泡，反复捶打，捶打后就有一些散碎的蚕丝毛毛落在席子上交织在一起。丝棉取走后，可以从席子上揭下一层蚕丝毛毛结成的薄薄的丝棉片，这种东西叫做赫蹄(xítì)。赫蹄是经过脱胶处理后结成薄片，它很象纸，但是强度不够，不利于书写保存。可是只要将这种技术移植到处理植物纤维时，就可以制成真正的纸了。所以，纸和丝的关系，主要是丝加工技术对造纸工艺过程的启发。

这里，我们可以看到一个有趣的现象：在丝加工这种古老的民族技术中，已经包含着以后纸加工技术的最重要也是人们凭空最难想象出的环节。这就是：含植物纤维的物质的脱胶，捶打，成浆，在席子上凝固、干燥，就可以成为有一定强度的薄片，它们可以用来书写！今天，造纸工业相当发达，其工艺原理仍然是这个。但是如果“赫蹄”仅仅停留在丝棉的加工中，它充其量只是一种丝织技术的副产品，而不能成为真正的造纸技术。纸的出现，还需要强大的社会需求来推动技术转移。我国古代文化相当

发达，大一统的国家需要尽快传递中央政府的各项指令。因此，造纸技术完成于东汉，并且是由掌管皇家工场的尚方令蔡伦来实现定型，这就不足为奇了。

蔡伦很小就进宫当了宦官，汉和帝时他当过皇帝侍从——中常寺，后来又当了皇室工场总管——尚方令，负责监造各种器械。他手中掌管着不少能工巧匠。蔡伦有了这么好的条件，他就有目的地实验一套加工纸的技术。在赫蹄技术的启发下，蔡伦和他的工匠们终于用树皮、麻头、破布、鱼网等便宜易得的纤维物质，制造出了轻便而又经济适用的纸。公元105年，蔡伦把制成的纸献给皇帝，人们把它称为“蔡侯纸”。

但是，这项重大新技术并没有在全国迅速普及。主要原因是交通不便，缺乏推广新技术的相应的社会措施。简牍、缣帛和纸并存，直到公元五、六世纪，纸才取代简牍和缣帛。

这一点很值得重视。为什么造纸技术的普及和推广是发生在中国历史上的民族大融合时期呢？历史记载，正是在两晋150年，特别是在晋南迁到建康前后，造纸技术传播得特别快。这时，民族的融合促使人口流动，特别是随着经济中心由北向南转移，

工匠也四处传播技艺，随地区不同，造纸原料也多样化了。当时，大书法家王羲之就是用一种会稽出产的竖纹竹纸书写的。晋元帝时有个叫葛洪的著名学者，他为了炼丹把麻纸浸泡在黄檗（b6，一种颜料）中，结果发现这种黄麻纸有防虫的性能。同时，北方民族大迁徙、流动，也使造纸技术逐渐外传。

我们来总结一下这个过程。首先，造纸技术蕴含在丝棉加工技术之中。丝织品技术在中国有着悠久的历史。造纸技术从产生到发展、到成熟、社会化经过了漫长的时间，在古代，它也只有经过漫长的时间才能普及。只有中华民族那样古老的文明古国，有着这样不曾中断过的古老文明，这一技术才能孕育出来。所以，第一，造纸技术在中国出现是和中国文明绵亘数千年而没有中断密切相关的。无论是古埃及社会还是古希腊罗马文明都没有这样的条件。

第二，古代技术一般都不是开放性的，它的转移极为困难。丝绵加工中的“生产赫蹄”技术为什么会转移成造纸技术呢？这就和中国古代特殊的社会结构有关了。我们知道中国封建社会和西欧封建社会最大的区别是它的“大一统”，而且中国是一

个依靠知识分子——儒生来组织国家机器的国家，也就是实行“意识形态结构和政治结构一体化”的国家^①。这样的社会结构对信息交流技术有着极大的需求，尽管它的经济是小农经济。如果没有发达的交通，统一的文字以及传递信息的工具，维持大一统国家是不可能的。控制论创建人维纳有句名言：“社会通讯是社会这个建筑物得以粘合在一起的混凝土”。“纸”难道不是这一“混凝土”最必需的要素么？正是这种对通讯工具的需求迫使造纸技术从丝绵加工中转移出来，并随着工匠流动而迅速社会化。由蔡伦这样的官僚成了造纸技术的集大成者就是最有说服力的证据！他不是一个工匠，而是代表着“大一统”皇朝来集中民间各种发明的。

第三，中国是一个依靠儒生组成官僚来进行管理的大国，儒生对于一般的技术可以不关心，但对于“纸”这样的文化交流必需品却非常注意。历史上造纸技术中不少发明是知识分子提供的，至少是由他们总结推广的。这和古罗马奴隶社会以及中世纪欧洲封建社会有很大区别。

指南针、火药和印刷术的发明过程和造纸十分

^① 参见：金观涛、刘青峰《中国封建社会的结构——一个超稳定系统》，《贵阳师范学院学报》1980年第1期、第2期。

类似。这些技术和直接满足吃穿住所需要的农业与手工业不同，它们是为在广阔地域上组成强大统一的国家服务的。火药来自金丹术，它开始出现在魏晋南北朝道家的炼丹炉中，但技术的转移也是由于“大一统”需求的压力。火药用于战争最早的记载是北宋初年，为了保持大一统王朝的稳定，官兵用火器来镇压李顺、王小波起义军。活字印刷最早记录在大科学家、高级官员沈括的《梦溪笔谈》之中。毕昇死后，他的全部活字为沈括手下人所得，并从这里传开来。从这里我们看到，正是中国“大一统”的社会结构迫使着古老封闭技术的转移，并在一种连绵而成熟的文明中蕴育它，最后才开放出灿烂的“四大发明”之花！

5.3 农业、手工业技术与

“大一统”社会结构的关系

如果我们把四大发明看作中国古代科学技术的代表，那么就会得到一个重要结论：四大发明主要是技术创造，它反映了中国古代科学技术体系中技术成果占主导地位，并且它是在封建“大一统”的社会结构中转移和发展的。我们可以把古代中国的技术结构概括称为“大一统型”技术。

这种归纳有没有道理呢？让我们看看中国古代技术的其它方面。我们知道，中国古代技术中首屈一指的是农业技术，特别是水利交通。据有人研究，虽然就整个技术水平来说，西方18世纪后就超过中国，但中国水利和农业技术却是在19世纪末甚至20世纪才落后的^①。都江堰工程至今为止还是世界上水利灌溉系统的奇迹。为什么在世界上那么多农业古国中，唯独古代中国的水利交通技术是这样先进呢？要是没有“大一统”社会结构，小农经济绝不可能自发产生这种大规模的技术系统。

人类历史上最早的运河是我国春秋时代吴国修建的胥溪。早在周朝初年（公元前11世纪），东南沿海生活的越人，为了向镐京进贡，就得把船向东驰入大海，沿海路北上，再进入淮河或济水，而后往西抵镐京。为了纳贡，要绕这样一个大圈子。公元前506年，吴国和楚国交战。对吴国来说，一个非常关键的问题是如何尽速补充在西方战场上的粮食，军用物资。绕个大圈子往往要耽搁军机。这时吴王阖庐就派伍子胥修一条从苏州通太湖，经宜兴，穿石臼湖，从芜湖入长江的运河。伍子胥很出色地完

① 邹德秀：《中国近代农业科学技术落后原因的探讨》，《自然辩证法通讯》，1983年第2期。

成了任务。这条运河长100多公里。在今天看来，胥溪并不长，但它的重要意义在于，它沟通了我国南方长江水系。欧洲最早的运河是1832年在瑞典北部修筑的果达运河，比我国的胥溪晚了2,300多年。中国之所以成为世界上最早修建运河的国家，很明显是由于统一的需要！

另一个例子是灵渠。它是一条长仅有30多公里的运河。这条运河修在地势复杂的湘桂丛山地带，为了克服水位差等技术上的困难，就要在分水岭的地点选择以及如何修渠问题上颇费心思。为了解决湘水源头坡降度大，溯湘（水）入漓（江）这些非常困难的问题，修建者有意设计了一条曲折迂回形状的北渠，这样就降低了渠底的坡降，并且又在渠身左右修了一座座伸向渠中央的土堰拦水，为船只逆流爬坡而上创造相对平缓的航行条件。灵渠的设计是技术史上的奇迹，它充分显示出我国古代劳动人民的智慧。所以，据说灵渠这一名字，即象征着智慧。

那么，为什么要花费这么大的心血来修灵渠呢？原来，这也和中国封建社会的特点有关。公元前221年，秦始皇下令尉屠睢进军岭南、一举最后完成统一大业时，却遇到意想不到的困难。岭南一带

地势崎岖，军粮和军用补给运输存在很大问题。到公元前219年，仗打了三年都进展不大。于是，秦始皇让当时主管转运军粮的史禄修建灵渠，沟通湘、漓二水。到公元前214年，灵渠修成，秦始皇遂向岭南增派援军，并一举获胜，控制了岭南，迅速统一南部地区，并在桂林、广州、雷州半岛新设置了三个郡。灵渠，在战争中起了“通粮道”的重要作用，在平常时期，它又是沟通国内物质交流的重要通道，促进岭南经济文化的发展和民族融合。所以，自秦始皇修建灵渠后两千多年中，据文献记载，历代整修灵渠达20余次。

运河水利网一旦修成，就造就了古代最先进的交通技术并使河流组成了整体性的灌溉系统。它不仅用于满足大一统王朝通讯和交流的需要，也满足了封建大国以农业立国的要求。历史上我国的南北大运河起到作用是不可估量的，它关系到中央王朝的稳定。中央王朝有专门管漕运（国家征集粮食的运输系统）的机构和官僚。大运河的畅通与滞塞情况，直接关系到大一统帝国的命运。例如：公元755年安禄山率15万部卒起兵范阳，安禄山兵分三路进军江淮地区，直捣运河要冲——睢阳。名将张巡意识到这是关键性的战役，他和睢阳太守许远会孤军

死守，顽强抵抗，大破叛军，斩首万余级，终于阻止了安禄山的精锐部队南下，保住了大 运 河 的 通航，使中央政府所需物资，能从江淮地区源源不绝地北运。这是平定安史之乱的一场决战，使得唐帝国又继续统治了一个半世纪之久。

我们再来看看手工业技术，它是否也和大一统社会结构有关呢？一个社会的手工业技术水平取决于商品经济发达的程度。我们知道，中国封建社会的特殊结构，使得中国封建社会经济结构和西欧封建社会具有不同形态。中国封建地主经济结构对商品经济的容纳程度远大于西方领主经济结构，而发达的商品经济必然刺激手工业的进步。于是，中国古代的手工业水平远高于西方也是当然的了。

我们且不谈那些应发达的商品经济需要而产生的“灌钢”和“百炼钢”技术，也不谈西汉政府在河南安阳开办的庞大炼铁工厂，至今那里还有堆积如山的汉代铁矿沙，我们只来分析一下后来成为西方蒸汽机技术的基本装置：水排。

水排是一种借助水力的鼓风机，它是应我国汉代发达的冶金生产所需而发明的。相传春秋末年吴国铸剑名匠干将将在冶炼时，仅参加“鼓囊装炭”的就有“童男童女三百人”，可见那时鼓风是用人

力。后来发明了利用畜力的“马排”，史书说：“旧时冶，作马排，每一熟石，用马百匹。”水排是我国东汉初年杰出的技术发明家杜诗主持设计制造的。后代元朝的王祿“多方搜访”，叙述了卧式水排的结构。这是一套有主动轮、从动轮、曲柄、连杆、皮带传动等装置的复杂机械，可以把圆周运动变换为拉杆的直线往复运动。更为巧妙的是，它还有一个叫旋鼓变速装置，使拉杆的往复运动变得连续而又快速。没有这些重要的机械装备，蒸汽机的产生是不可能的。显而易见，水排之所以在中国出现，一方面是由于地主经济结构造成对商品的需求，另一方面，它和国家对冶金的重视分不开，并且不少知识分子（如王祿）参与了这一技术的总结和定型工作。这一切无不和中国封建社会结构有关。

5.4 中国古代技术结构——大一统型技术

我们把与“大一统”社会形态直接相关的技术，如中国古代交通、通讯、军事技术，“敬授民时”的历法、土地丈量技术、绘制地图的技术，乃至体现皇权威严的皇宫建筑等等，统称为“大一统”技术，并做了一些统计研究。我们把中国古代

的技术成果按农业、“大一统”技术，手工业和医药技术加以分类统计，同样采用前面所述的计分标准，可以算出各类技术在整个技术构成中所占的百分比，见下表。

表5·4·1 中国古代各类技术在总技术构成中的比重(%)

朝 代	农 业	“大一统”	手工业	医 药	其 它
春 秋	16	13	40	20	11
战 国	26	12	43	18	1
秦	1	59	40	0	0
西 汉	5	24	63	8	0
东 汉	4	41	47	8	0
魏、西晋	12	12	35	41	0
南北朝	13	13	45	10	19
隋	1	58	27	14	0
唐	4	32	47	16	1
北 宋	2	53	43	2	0
南 宋	7	43	39	10	1
元	12	28	37	8	20
明	6	34	45	13	2
清	2	40	46	12	0

表5·4·1的统计数字表明，与大一统社会结构相联系的技术成果所占的百分比，多在30%以上；分裂时期则在13%以下。它明显地表现出“大一统”技术与“大一统”社会结构的联系。

统计结果还表明，历代手工业多占技术总分的30—50%。这样，在统一时期，手工业和“大一统”技术的总合计分就占了整个技术总分的70—80%，它们决定了整个社会的技术水平。因此，中国古代技术的发达主要是由大一统的社会组织形态和相应的地主经济所决定的。

所以我们可以把中国古代技术结构称为“大一统型”技术。并且，我们还根据统计数据作出了科学技术水平在各朝代净增长曲线（图5·4·1）。曲线很明显反映了一个规律，技术水平的增长和封建社会结构直接有关。也就是说，一个王朝的技术增长和它的中央集权程度以及商品经济发达程度直接相关，图5·4·1中出现了北宋时期的最高峰。众所周知，在宋代，不仅大一统的官僚政治形态趋于成熟，而且地主经济和商品经济也非常发达。当时国家征收的商业税的年收入就曾达二千二百万缗，约占总岁收的1/7。当时20万人口的城市多达6个，临安则是30余万户、百余万人的商业消费大城市。又据《宋史·食货志》，当时“各路缴纳税绢达三百四十一万匹”。相反，魏晋南北朝时，封建国家陷于分裂，地主经济衰落，商品经济普遍萧条，图5·4·1中显示这一时期技术净增长水平也最低。唐

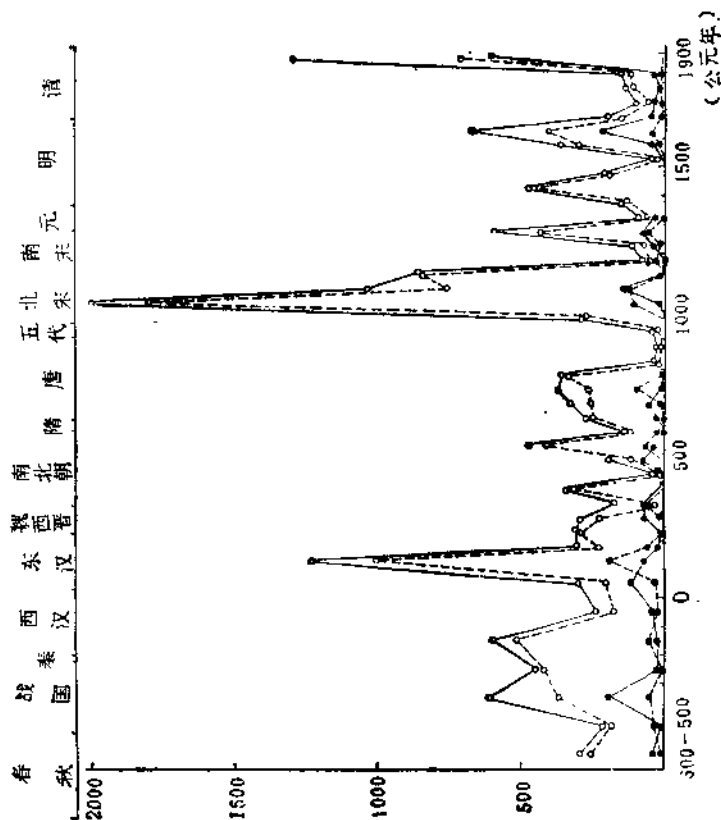
朝开元年间统一和商品经济发达是众所周知的，与此对应的技术净增长线也很高，而到安史之乱以后商品经济衰落下去时，技术净长线便跟着下降。五代的情况也是这样。

统计曲线还表明，技术线远远高于理论线和实验线。再从中国科学技术成果的总分中算一算，技术成果的累积计分高达80%，理论成果积分占13%，而实验成果积分仅占7%。这表明，中国古代科学技术水平主要是以技术水平来体现的。

中国古代“大一统型”技术结构带来什么历史后果呢？它的优点是：由于“大一统”社会结构，特别是通过国家官僚行政机器对技术的干预，在一定程度上打破了古代技术固有的封闭性，使得一些重要的技术能在转移中光大、发展，古代工匠伟大的创造力在一定程度上被国家组织起来，造就了中国古代技术在世界的领先地位。四大发明的出现就是象征。但是“大一统型”技术是靠封建大一统帝国的结构和行政干预来打破其封闭性的，而技术体系本身却不是开放的。技术转移只能在封建大一统帝国需求的框架下进行。这就造成了悲剧。图5·4·1表明，中国古代技术发展曲线和封建王朝盛衰波动相一致，两者几乎是同步振荡！大一统王朝崩溃之

图五·四·一 中国古代科学技术水平净增

长曲线 (以50年为单位)



时，就是技术体系面临破坏之日，技术增长值降到最低点。我们在前几章举过的宋代丝织技术，它在宋朝太平盛世已发展到和英国工业革命前差不多的水平，但它存在于“大一统型”技术结构之中，不可能向开放性技术体系转化。“大一统型”技术是中国特有的，它产生了四大发明这样伟大的发明，中国古代技术也付出了巨大的代价：它带上了沉重的封建桎梏。

5.5 直观的天才与诡

辩术：有机自然观

有一个著名的故事能形象地反映出中国古代科学理论的结构。据说孔子东游齐国途中，看见两个小孩在那里争辩不休。一个孩子说：“太阳从东方出来时离人最近，因为初升的太阳大得象车上的伞，到中午，却只有碟子那么小。难道不是因为远显得小，近处显得大吗？”另一个分辩说：“不对！早晨，天气寒冷，到中午，却热开了锅，这难道不是太阳在中午近了才觉得热，远了感觉到凉吗？”孔子听了两个小孩的话，无法判断哪个正确。小孩便嘲笑他说：“谁说你博学多知呢？”

我们来分析一下这个故事。第一个小孩把太阳

看作圆盘，得到早上近中午远的结论。第二个把太阳比作火炉，得到早上远中午近的结论。这两种看法虽然不同，但思想方法却是一样的，都是直观外推！也就是说用直观能理解的东西来推理自然界其它现象。它是中国古代科学家搞理论的模式。更为绝妙的是：作为中国古代正统思想家——儒家的集大成者——至圣先师孔夫子居然难于判断谁是对的。他觉得两个孩子说得都有理，他的思想方法和这两个孩子完全一样！这一点充分反映了中国古代科学家所遵循的理论规范和文化传统之间深刻的关系。

以个人经验（包括社会的和心理的诸方面）合理外推，是儒家认识世界的模式。把家庭结构外推到国家，把父子关系推广到君臣，这种模式也深入到中国科学家的思想方式之中。它的好处在于：中国科学理论具有相当的无神论色彩，使得经验论和唯物论在很大程度上指导着中国科学理论的发展。于是，在西欧神学自然观占主导地位时，中国古代科学理论能大放异彩，出现很多天才的猜想。但是这样的模式也就给自然科学理论带来了直观和思辨的特点，特别是儒家伦理中心主义使科学理论趋于保守和缺乏清晰性。无论是董仲舒、朱熹，还是王

充、沈括，他们大多以人的行为和感受外推而解释自然现象（比如，王充就以“元气呼吸，随日盛衰”来解释潮汐周期）。这就出现了一种颇为奇特的现象：在那些用日常经验和直观外推能解释的科学领域，古代中国科学理论都有过精彩的论述，如对流星、陨石、化石、虹的解释等等。而一旦越出直观外推所能把握的领域，中国古代科学理论就显得含混不清，甚至堕入神秘主义和不可知论。

一个突出的例子是朱熹。朱熹对化石成因有正确认识，又用鞭炮来解释雷鸣，用下雨使日光散射来解释虹，用“星有堕地，其光烛天，而散者变为石”来解释陨石。确实，当时能达到这种认识是非常难能可贵的。用鞭炮直观外推就能解释雷鸣，但毕竟并不是任何自然现象都是这样的。特别是对于天体运动和化学变化。中国科学家又怎样解释火药具有爆炸的性能呢？我国明代大科学家宋应星曾写道：“凡火药以消石（即硝石）、硫磺为主，草木灰为辅。消性至阴，硫性至阳，阴阳两神物相遇于无隙可容之中，”这就引起了爆炸。总之，这是至阴的硝和至阳的硫磺相遇的结果。从这个解释中，我们难道懂得了火药可以爆炸的机理吗？不！一旦越出直观外推所能把握的范围，中国科学家往往就

把理论搞得模模糊糊的。他们常常借助于由直观抽象出来的模糊概念来思辨地解释！是啊！阴和阳难道不是从日常生活的直观中抽象出来的吗？白天和黑夜，冷和热，男性和女性，自然现象几乎总分为两类，人们可以从这一对概念中找到对任何现象的似是而非的解释。在阴阳观念浓厚的人的头脑中，这种解释已经令人满意，进一步的探索也就没有什么必要了。

在我国古代思想史上“气”和“阴阳”是两个非常重要的概念。两千年来，历史上有多少学者文人在使用它们，探讨它们的含义和用法。但是这个讨论到了今天，还没有得出非常清晰的说法。当然，“阴阳”在中国人的头脑中，已不是一个普通的哲学名词了，它们代表着一种朴素的辩证法的思维方式。这使中国人在许多问题上克服了简单化、绝对化的倾向。但是，把它用在科学理论中，又往往使理论含混不清。科学理论结构最重要的就是它具有清晰性，错误的但却是清晰的理论并不要紧，因为它是可以证伪的，可以被实验推翻的，这样它也是可以进化的。最糟糕的莫过于看来正确，但又似是而非，任何实验都好像证明了它，但也好像什么也没有证明，这种理论必然难于进化。

科学之所以对人类有意义，就在于通过它认识未知世界。如果一旦碰到直观外推无效的未知领域，就用不可证伪的思辨来作出自圆的说明，科学理论还有什么用呢？古代科学家用阴阳解释火药爆炸，他们也用同样的一套来解释电，他们说：“阴阳相激而为电”。为什么会有地震？那是因为：“阳伏而不能出，阴迫而不能蒸”。为什么磁石吸铁？宋人陈显微解释道：“皆阴阳相感，隔碍相通之理，岂能测其端倪哉”？看看，都是同一套办法！也就是说，只要满足于“阴阳相感”似是而非的解释，就不必深究“隔碍相通之理”了。

这样的理论结构必然导致两个结果，其一是坚持直观性，这固然保卫了科学中朴素的唯物论倾向，但大量现象并不能用直观外推来解释，坚持直观，就会在理论上削足适履。其二导致天人感应的神密主义，认为“天道渊渊，人不可知”，或者用思辨的天人感应来附会自然现象。

中国古代科学理论经常在这两个泥潭中挣扎，往往是拨出一个泥潭，马上陷入另一个泥潭！中国东汉伟大的思想家王充，对董仲舒以来愈演愈烈的“天人感应”等迷信思想进行了有力的批判。王充在很多场合是用直观外推来批评“天人感应”的，

这使他具有很多杰出的见解，同时又必然带来一些明显错误的认识。他认为天是一个硬壳形质的实体，“夫天者，体也，与地同”，象地上的房屋列于地表一样，天上的星宿也是附着于天壳之上：

“宅舍附地之体，列宿着天之形”。这种看法是用房子比天，是直观外推，它看来是唯物的。王充正是从这种思想方法出发，在宇宙构成上提出了“平天说”，即天与地是两个无限大的平面，这一宇宙模型不仅比浑天说落后，甚至比古已有之的盖天说还不如。在王充的模型中，日月星辰是在天这个有形质的大平面上转着。按照这一模型，太阳转到北面时人们在地上应该只能看到竖着的破镜的状态。而事实上，人们从来都只能看到横破镜形式的日出日落。后来的葛洪曾尖锐地指出这一点，可谓击中要害。更有甚者，王充对日月是否是圆球形的也表示不相信。他举例说古人看到天上掉下的陨石不是圆的，来证明日月不圆。其看上去所以圆，是因为它们离我们太远的缘故。多么可怕！一个唯物主义者居然连最普通的天文观察都不管了。实际上，大地是什么样的，最终应从天文观察中来抽取理论，仅仅靠直观外推是不行的。王充的失足并不是他个人的错误，而是中国古代科学理论结构的特点

造成的。正因为儒家认识模式的影响，中国古代科学理论没有建立逻辑构造型体系。

直观外推法不灵的领域太多了，所以很多哲学家喜欢把自己的科学理论搞得模棱两可，甚至自相矛盾。这样任何时候都不会错！比如，作为理论大家的朱熹，有些观点就是自相矛盾的。在朱熹的宇宙模型里，天在白天时自左向右旋转，夜间又自右向左旋转。同时，朱熹还同意张载的天地均左旋而有迟速不同的见解。他甚至还用张载的这个学说来解释七曜运转和制定历法。作为一个大哲学家，居然可以容忍自己的理论模型中有互相矛盾、互相对立的学说同时并存，这的确是令人十分吃惊的，也是任何一个构造型理论体系中不能允许的。这种特点，在我国古代不少科学理论中都存在。

5·6 “伦理中心主义”的结果： 科学的政治化与技术化

儒家正统思想不仅影响了中国古代科学家的思想方式，还产生了两个极为可悲的后果，第一，儒家“伦理中心主义”直接影响科学理论内容。它使科学理论摆脱不了稚气。即便是已经踩着近代科学门槛的方以智，在《物理小识》中仍然在宣讲什么

“夫声气风力实传心光，受命如响，神不可测”。在这种思想支配下，人们很难把自然界当作科学的客观对象来研究。理气之争与善恶相随，天地日月之论与君臣等级相伴，世界是万物交感的世界，学问家的任务在于建立起包括自然现象在内的给出伦理说明的理论体系。更为重要的，它造成了科学的政治化和理论的技术化倾向。这一点是需要我们认真研究的，因为它对中国古代科学理论影响十分巨大。我们先来看一个例子。

我国历史上最伟大的科学家祖冲之，他算得圆周率为： $3.1415926 < \pi < 3.1415927$ ，并以 $\frac{355}{113}$ 为

圆周“密率”，比德国的奥托(Valentinus Otto)取得这个值早了1,100多年。他精于历法，创大明历引进虞喜发现的岁差现象，定出交点月日数为27.21223日，同现代我们测定的相比只差十万分之一日。他为了大明历的实施，曾和朝廷宠臣戴法兴展开了一场激烈的论战。论战中，祖冲之往往据理力争，驳得戴法兴无言以对。这些是人们经常谈论的。

但是并不是每个人都知道，祖冲之也犯了一些错误。辩论中戴法兴有些看法是正确的。如戴法兴批

评大明历把上元积年的算法搞得愈加复杂庞大了。上元积年本是一个虚设的数。在三国魏时杨伟立景初历（公元237年），和南朝何承天制元嘉历（公元443年）时，已经用比较简单的方法来处理上元积年了。但祖冲之并没有用这些先进的经验，反而认为戴法兴的批评没有道理。另外，戴法兴在辩论中为了维护十九年七闰的说法，提出“日有缓急，”也就是说太阳的运动不是匀速的。祖冲之把这种看法斥之为：“未见其证。”这样，又过了一百多年到6世纪时，北宋天文学家张子信根据长期观察，发现太阳的运动在冬至点前后较快，在夏至前后较慢。后来隋代刘焯又发挥了这一思想。本来，在两个科学家争论时，各有对错并不是什么奇怪现象，但在中国古代科学辩论常常和政治斗争直接相关。如果科学辩论被看作政治斗争，那么一派的胜利就表示另一派观点全部被否决，甚至遗忘。从来没有一切都对的科学家，戴法兴压制祖冲之是不利于科学进步的。后来祖冲之胜利了，戴法兴提出的太阳视运动是不均匀的这一重要天文发现也被抛弃了。这样，科学理论又怎么进步呢？

中国古代，科学理论，特别是天文、数学和政治密切结合，它是中国封建社会结构的特殊产物。

天文历法和大一统王朝直接相关。中国封建社会是一个意识形态结构与政治结构一体化的国家，是由儒生组成国家机器的。科学理论一旦纳入儒家思想方法的框架之中，科学家一旦成为科学官僚，那么科学必然会官方化，会和政治密不可分。

汉武帝时的大儒家董仲舒曾创立了“三统之说”。所谓三统，就是夏代为黑统，商代为白统，周为赤统，三统依次循环，每换一统就更换一个朝代。这本来是一种带有神秘色彩的国家学说，和历法关系不大。但是，到西汉末期世胄出身的大科学家刘歆却把三统说巧妙地引进历法，制定了“三统历。”我们姑且不论三统历在科学史上的地位，这里可以看出中国的天文历法和政治统治的关系。在三统历前的太初历中，过三个1539年之后，朔和冬至又回到同一个甲子日。于是，刘歆就把这1539年的周期称为“一统”，三个1539就是三统。他说：“三代各据一统，明三统常合，而迭为首。”^①这就为王莽篡位获得“天命”造了舆论准备，刘歆当上了王莽的国师。

正因为如此，象天文历法这样被国家上层官僚

^① 《汉书·律历志上》

机构垄断的官方学科，必然与争权夺利的政治斗争纠缠在一起。最典型的例子是隋代关于历法的一场斗争。隋文帝杨坚称帝后，当年为他相面说他有帝王之运的道士张宾，便成为宠信。还有个叫刘晖的天文学家因为阿谀迎逢张宾也当上了太史令。张宾在南朝何承天的元嘉历的基础上，稍加修改搞了个开皇历。当时有两个天文学家刘孝孙和刘焯上书指出开皇历不够科学。主要是说这个历法不懂岁差，也不会算定朔。公元5世纪时，祖冲之就已把这一科学成果引入历法创大明历了。开皇历实则是个退步。但张宾和刘晖就给刘孝孙扣了顶“非毁天历，率意迁怪”的政治帽子，又骂刘焯“妄相扶证，惑乱时人”，接着又找了个碴子，把二刘赶出京城。

刘孝孙好不容易熬到张宾死了，再次上书，奏章落在那个还在任上的刘晖手中。刘晖扣压了奏章，又把刘孝孙骗至京城，把他关在司天监中“累年不调，寓宿观台”。刘孝孙苦于自己的意见不能上达，一气之下用车子推了口棺材，抱着他的历书在皇宫门前大哭。这下惊动了隋文帝。于是皇帝命人评定历法的优劣。结果，刘孝孙取胜。刘孝孙多年的积愤暴发了，他没有考虑让自己的历法怎样实

施，而是要求处死刘暉。因这个要求冒犯龙颜而未获准。不久，刘孝孙就死了^①。

刘孝孙在司天监时有个同事叫张胄玄，在皇上评定各种历法时他支持过刘孝孙。但科学不过是他向上爬的敲门砖。刘孝孙死后，他占其遗稿，又投靠隋文帝的亲信大臣，伪造天象吹捧杨坚，得到杨坚的赏识。他又同袁充勾结，一齐排挤隋代最杰出的天文学家刘焯。因为刘焯揭露过张胄玄抄袭刘孝孙的历法。刘焯在公元600年撰成了中国天文学史上有重要地位的皇极历。这个历法的计算在数学史上也很重要，他给出了推算日、月、五星行度的内插公式，这是个二次函数的计算。深受隋文帝、炀帝宠信的张、袁二人一直压制刘焯。刘焯终于在公元608年抱恨而终。

在中国天文历法史上，每一次改革都要做出极大的努力，改革的阻力不仅仅是旧历法的保守，更多的是政治阻力。因为天文历法乃是和皇室权威联系在一起。有时为了一点改革，天文学家不得不耍花招掩人耳目。南宋天文学家杨忠辅在制定历法时丢掉了“上元积年”这个包袱。他制定的统天历

^① 《中国天文学史》中国天文学史整理研究小组编著，科学出版社1981年版，第81—83页。

（公元1199年）把回归年长度定为365.2425，这和公元1582年以后通行至今的格里高里历完全一样，但是，杨忠辅害怕守旧派的攻击，他公布历法时仍虚立了一个上元积年。这种改革仍逃不脱守旧派的眼睛。历法公布4年后，守旧派抓住杨忠辅推测日食的时间比实际天象早了一个半时辰，而罢了他的官。本来，天文机构推测日食不够准确的事常有，但因此而罢官的则不多见。后来有个大理事鲍瀚之则明确地骂统天历是“气朔五星，皆立虚加，虚减之数”，这种历法“乃民间小历，非朝廷颁正朔、授民时之书也。”

这样，在两千多年历史中，历法并不总是越改越准确的。进两步退一步，就很不错了。比如公元前104年制定的太初历是中国天文史上影响很大的历法。比以前的历法有很大进步，但在定回归年日和朔望月日上，它却比以前的四分历退步了。天文学一旦和官僚政治连在一起，它进步的速度就可想而知了！

纵观两千年历史，天文历算的政治化是越演越烈的，官方色彩越来越浓！相传，中国早在周代就发现了勾股定理：“故折矩以为句广三，股修四，径偶五”。据传是一个叫商高的贤大夫发现这条

定理，盖天说也是他提出来的。从秦汉中国统一后，第一个和历法有关的人就是位至宰相、功以封侯的大官僚张苍。宋太宗在978年下令“召天下技术有能明天文者试隶司天台，匿不以闻者，罪论死。”第二年，各州就送了一批天文术士进京。国家通过考试选了一些人进司天台，其余的人则黥配海岛。科学家不是官僚，就是罪犯，没有中间出路。这样，自然民间的天文仪器制造能手就很稀少了。到南宋，已找不到这样的人。当时曾想造浑仪，遍访找不到人。后来找到大科学家苏颂的儿子，又找来苏颂写的《新仪象法要》，但是他连看都看不懂。最后好不容易找来一架金人劫余的浑仪模型，才勉强照着拼凑了一架。

明以前，只禁止民间私习天文，而未禁止私习历法。明以后，控制更严了。明代有个叫沈德符的人在《野获编》中记载，“国初学天文有厉禁，司历者遣戍，造历者殊死。”这就造成了民间很少有人学习和继承这一学问。所以到孝宗时，因官僚机构中的管天文的官员们也不会推算历法，国家只好“征山林隐逸能通历学者以备选，”结果是“卒无应者”。也不知是不敢应招还是真没有人懂了。

上面我们举的是数学和天文学的例子，其他学

科如何呢？我们不要忘记，在数学和天文学中原始科学结构较容易产生和发展成长。在中国历史上，其他学科的政治化倾向虽没有天文学、数学严重，但儒家文化政治结构给它们带来另一个特点，这就是：技术化倾向。

中国古代一方面是技术发达，另一方面是儒家理论模式的经验和直观特点，这使得中国古代科学理论中关于技术经验的总结很丰富。特别是在宋朝的技术高峰之后，经元至明，到了对中国古代技术进行全面总结的时期，《本草纲目》、《农政全书》、《天工开物》就是在医药、农、工三大领域中最高水平的总结。表·56·1的统计表明，主要是记录、总结技术经验的著述在历代理论成果积分中多占20%左右。

技术总结丰富本是好事，但科学理论结构具有过份技术化倾向时，就成问题了。

中国古代即使在纯理论研究中，技术化倾向也很明显。儒家除使对自然界的认识为伦理学说服务之外，其积极入世的现实主义精神又使它并不绝对排斥某些为现实生活服务的技术，这两点就造成了理论的技术化倾向，而不重视理论体系的自我完善。于是乎，天文学附属于历法，数学偏重于解题

表5·6·1 历代关于技术经验总结性的著述
在理论成果积分中所占比重(%)

朝 代	技术经验总结	其它理论成果
春 秋	29	71
战 国	25	75
秦	0	0
西 汉	25	75
东 汉	6	94
魏西晋	13	87
南北朝	20	80
隋	100	0
唐	27	73
北 宋	17	83
南 宋	18	82
元	41	59
明	35	65
清	23	77

和运算技巧，生物学知识几乎完全存在于农学与医学之中。历法经常随着需要而修改，但天文学理论几乎是停滞的。盖天、宣夜、浑天三学说两千年来发展迟缓。数学的发展主要是运算技巧越来越高超。当然，这并不是说中国数学没有理论，而是说这种理论与计算技术不可分割，没有形成严密的结构体系和简明的表达方法。同样，植物学分类基本上囿于实用的本草学范围。显然，中国古代科学理论的

这种技术倾向，使科学理论难于得到相对独立发展的机会。

总之，如果说中国古代技术发达的特点主要是由封建社会大一统的政治结构和地主经济结构所决定，那末中国古代科学理论的特点则主要是由文化结构带来的。

中国封建社会自秦以后形成了一种以儒家学说为正统、道家学说为补充的意识形态结构。这对中国古代科学理论的影响是巨大的。从积极方面来看，它使得有独立人格和意志的上帝在中国古代科学理论中找不到插足之地。古代理论的产生往往与人们的直接经验和直观感受相联系（当然也不乏天才的想象力和推理），这就使中国古代科学理论往往带有经验论的唯物论倾向。它是中国古代科学理论比神学自然观统治的中世纪西欧更为先进的原因。我们不仅有以墨子、张衡、刘徽、祖冲之、一行、沈括、郭守敬、李时珍、宋应星等为代表的闻名于世界的大科学家；而且从总体上看，将图1·1·1与图1·1·2加以对比，可以看到中国的理论水平在中世纪相当长一段历史时期里高于西方同期理论水平。但这种文化结构却阻碍构造性自然观在中国古代科学理论中确立自己的地位。科学的伦理中心主

义，技术化和政治化都使中国古代科学理论长期停滞在有机自然观阶段。

5·7 非受控的实验结构

中国古代实验结构又如何呢？有人说，中国古代科学家不重视实验。这并不准确。虽然就中国自身技术、理论、实验三者来比，实验成果很少，只占7%，但和西方中世纪比，中国科学实验还是很先进的。图1·1·1，图1·1·2表明西方是在近代科学结构确立之际实验成果才超过中国。

中华民族是酷爱实践的，是求实的，她具有惊人的实践毅力和才能。中国人对自然的观察纪录敏锐而又丰富。他们在很早就懂得了理论是要通过实践来检验。这一点比中世纪经院哲学要先进。正因为这样，中国古代某些实验成果如灿烂的星星闪烁在人类文化的天空中！对电和磁的最早实验就是例子。中国早就利用地磁造出了指南针。公元1044年，沈括在《梦溪笔谈》中就明确地记载了磁倾角，比西方早了五、六百年。

那么，为什么中国古代科学中没有产生受控实

验结构呢？分析一下中国古代对磁倾角的认识方法，能有助于我们理解这个问题。我们知道，中国古代科学理论在有机自然观支配下，可以认识到不相连的事物间有某种相关的感应。有的科学史家把这一点称为：我国古代科学家“先验地倾向于场论”。这使得中国古代科学家在观察磁针时，更容易发现地磁场和磁针的相互作用。而西方人认为只有物体接触时才会有相互作用。这种观念则使得人们看到磁偏角时也要拒绝接受它。李约瑟曾风趣地指出，16世纪西方虽然有了比较完备的罗盘，但居然把磁针不指向正北看作一种误差，罗盘制造者瞎摆弄这种仪器，把卡片装歪来使它指示正确的方向。罗伯特·诺曼也一直瞎摆弄他的罗盘以便使得罗盘指针位于水平位置。直到有一天他发了脾气，才真正发现了磁偏角。

无可非议，有机自然观中的经验论、唯物论、无神论倾向比神学自然观、甚至比古希腊的毕达哥拉斯主义更有助于某些科学实验发展。但是这种自然观也必然把科学实验限制在某种束缚之中，使实验停滞。局限于观察和原始实践。阴阳感应固然促使了磁倾向在中国最早发现，但同时阻碍了中国真空实验的发展。

我们前面讲过中国古代有过世界上最早的真空实验，即将沸水注入铜瓮里沉入井中，由于铜瓮内的蒸汽突然冷凝，产生部分真空，外面的大气压将铜瓮向内压破而发出爆炸之声。人们一定非常奇怪，为什么古代科学家要去做这样一个稀奇古怪的实验呢？为什么古代科学家发现了真空而又没有认识真空呢？这个实验是记载在《淮南万毕术》中的。记载仅20余字，非常简略。任何科学实验都是有目的的，有人研究指出，古代科学家之所以去做这个实验，实际上也是有机自然观的支配。

原来，淮南王一派做过一些“夏造冰”的实验。夏天会下冰雹，这对于古人来说是足够奇怪的事：大热天天空中落下冰块来，直观外推的思想方法不能理解它。于是古代科学家就用阴阳来解释，认为“夏造冰”是因为“以阳召阳，以阴召阴”之故。既然有理论了，这可以付之实践，能否用同样办法造出冰来呢？因为“井中，阴也，水又阴也”，所以可以“召”来另一个阴——冰。西汉刘向在解释“夏造冰”时，就明确地说过：“盛阳雨水温暖而汤热，阴气觭之不相入，则转而为雹……故沸汤之在闭器，而湛于寒泉则为冰。”这几句话的意思是，沸水(汤)属于盛阳，井水或寒泉为“阴气”，隔瓶

“刳之不相入”，容器中的沸水“则为冰”或转而为冰(雹)。^①当然，这一实验肯定失败了，在井水中是造不出冰来的，阴和阳是思辩的哲学考察，也很模糊，它不是构造性逻辑推理。如果说，这一理论模式在充当“事后诸葛亮”来解释一切几乎是很高明的，用于防止形而上学也是高明的，但用来指导实验却不妙。因为它不能设计实验条件，更重要的，由于它的含糊性，实践结果不能证伪它。

虽然实验已否定了“夏造冰”理论，而且发现了真空。但是由于这个理论不可证伪，科学家就不认为理论错了，新的理论也没有提出来。“铜瓮雷鸣”实验的设计者并没有从中认识到真空及有关原理。这样，虽然中国古代早就认为理论应该实践检验，但并没有使理论在证伪中进步的机制，真空实验停滞了。后人实践的目的仍是“夏造冰”，并且不可能从原始的有机自然观中摆脱出来。

历史表明，后代人们也就只是沿着那条“夏造冰”的思路继续走下去。到五代时，书中则记载为：“汤盎投井所以化雹也。”可见，铜瓮雷鸣的实验在历史上做了，后代也有人在做，但人们却沿着一

^① 洪震寰：试论《淮南万毕术》中的物理学知识，1982年物理学史讨论会论文。

条与科学进步的关系不大的思路在走下去。

这一切证明了一个深刻的道理。仅仅谈实验的重要，谈观察力敏锐，甚至仅仅在哲学上知道理论必须用实践鉴别，是远远不够的。关键在于确立一种正确的实验结构。实验只有是受控的，只有在和理论循环加速中发展，才是科学的。而中国的儒道互补文化结构在束缚理论的同时也束缚了实验结构，原始的实践不是受控实验。

由于中国古代科学家的理论模式是直观外推，那么对于直观所能理解的事，就并不需要实验证明，它只要经验证明。而直观外推不能理解的现象，实验又不能证明什么。这就造成了中国古代科学家对实验的奇怪态度：在直观外推能把握的范围内，把它等同于经验；而在直观外推不能把握的范围，又陷于神秘主义。经验式的和神秘主义的两种极端形式，就是中国古代缺乏明确科学理论指导的实验结构。

一个典型例于是磁屏蔽实验。清初有个叫刘献庭的科学家曾发现了“磁石吸铁”、“惟铁可以隔之耳”。用我们今天的话来说就是，铁可以隔磁，这是磁屏蔽现象。这一现象是如何发现的呢？据刘献庭在《广阳杂记》中记载，有个人问起：“磁石吸

铁，何物可以隔之”、有个小孩子说：“惟铁可以隔之耳”。这个人就回来实验了，“试之果然”。也就是说，磁屏蔽现象竟然是由孩子在玩耍中发现的。那个提问的人还去试了一试，而在刘献庭看来，“此何必试，自然之理也”，他认为这符合阴阳自然之理，根本不必去试。更为可笑的是，他又写道：“后见一书曰：‘蒜可以避磁之吸铁’，尚未之试。”刘先生老老实实的承认了两点，一是他认为铁能隔磁的实验根本不必去做，二是对大蒜是否能隔铁他来了个阙疑，没有去做实验。看来，他后来也是没有做。这难道不可悲吗？这种态度很集中地代表了很多古代科学家，甚至是唯物主义科学家的看法。磁和铁的关系，是直观可理解的，不必去试。至于磁和蒜的作用，不明白，但试了又能说明什么呢？因此也不值得试！无论是磁、铁、大蒜都是极易找到的东西，而隔磁的实验也并不难做，只要动手去试试就行了，理论就可以搞清楚一些。但中国的学者却不肯去做！大博学家刘献庭的兴趣在于志奇志怪，有闻必录，而不在于探索自然现象的奥秘，这样，实践再丰富，它仅仅只是纪录而已！

正确的实验结构好象是容器，实验成果好象是水，只有正确的结构才能不断积累观察，使科学实

验进步。没有正确的结构，好象用竹篮子打水，实验成果即使出现，也会由于种种原因漏失，中国古代多少杰出的实验成果作出后，又失散在无知的沙漠中了！我国古代有一种用太阳影子定时刻的仪器——日晷。由于太阳的地平经度变化不均匀，那么，用太阳影子来定时刻的刻度也应该是不均匀的。如何用均匀的刻度来标出不均匀的时段呢？我们前面提到的那个压制刘焯的袁充，在这个问题上做了个实验，他把一个均匀刻成十二辰的地平日晷和漏壶进行比较，求出冬至、夏至、春分、秋分时太阳移动一“辰”的漏刻数。他求得的数据充分地证明了地平日晷的分划不应该是均匀的。但由于没有正确的实验结构和理论结构，他提出一种更加落后和退步的办法来解决这个问题，即用这种不均匀的时辰制度来改变漏刻制度。这一建议马上遭到了抵制。但是，在人们拒绝这种不合理的改革建议时，却把袁充的科学发现也抛开不理了。直到明朝，再也没有人去探讨日晷问题。

如果说“直观外推”的思想方法使中国古代科学实验为经验性的，那么有机自然观中的“天人感应”神秘主义以及科学政治化的倾向给实验带来了更大的束缚，它使得实验结果常常附会神秘的意

义，连它自然的质朴性都失去了。我们前面讲过，太初历比古代四分历有很大进步，但是在定回归年日和朔望月日上它却比以前退步了。为什么会倒退呢？它取一个朔望月为 $29\frac{43}{81}$ 日，古四分历是取 $29\frac{499}{940}$ ，不如古四分历精确。本来分母取940比较准确，它是来自于实验的，太初历却用81代替了。关键是81这个数可以附会上一种神秘的意义，叫做黄钟自乘。黄钟是一种九寸长的铜管中吹出的音调，为12音律之首，黄钟自乘就是以其长9寸自乘， $9 \times 9 = 81$ 。音乐又可以与天地万物相联系。历法数据一旦和这神妙的乐律联系在一起，也就使其数据显得神圣、奥秘，可以通天地了。而颁布这样的历法的帝王也就具有神性了。

中国历史上还有一部卓越的历法——大衍历，它是和尚大科学家僧一行花费6年的心血制定的。大衍历使用的通法是3040。也就是说把每天分为3040份，然后在计算历法中的各种基本数据时，如一年的长度，朔望月的周期，水、金、火、木、土五大行星会合周期，都是以3040为分母来计算。再根据这些基本数据安排每年的日历节气，推算交食和五星出没。本来3040这个值是来自观察，之所以用它，

是因为用它制定历法能比较符合天文观察实验。但是即使是一行这样伟大的天文学家也不满足于这个数的简单质朴性，硬要给它一种解释。聪明的和尚是怎么来解释3040这个数字的呢？他绞尽脑汁，用易经的“人神之极”来使它神秘化。看看他是怎么推的，倒是一件很有意思的事。

首先他把1，2，3，4，5叫做五行生数，这5个数相加得15。6，7，8，9，10叫五才生数，总和为40。 $40 \times 15 = 600$ ，定名为“天中之积”，反过来， $15 \times 40 = 600$ ，叫“地中之积”。二者相加得到1200，再除以4，得300。这个数叫“爻率”，乘10，得3000，称为“二章之积”。然后以五（称为五材）乘八（称八象）， $5 \times 8 = 40$ ，这个称叫“二微之积”。二章之积和二微之积一合并， $3000 + 40 = 3040$ ，这就得出了气朔的分母。一行说道：“中极……在章、微之际者，人神之极也。”似乎，聪明的和尚在做数字游戏，但实际上他是怀着神秘的崇拜在寻找象数的奥秘。这种做法当然会影响天文数据的精确性。有两次，他预言公元724年、725年要发生日食，但都没有观测到。怎么向皇上解释呢？一行和尚就称唐玄宗的德行感动了上天，而不是大衍历有缺点。皇帝当然满意于这种功德

无量感动上天的说法了。虽然我国古代科学家是懂得理论来自实践，并应该用实践来鉴别的，但有机自然观中的神秘主义以及科学政治化、伦理化却在这一点上造成反动，在很多场合，为了政治和伦理以及神秘的附会，实验结果是可以完全不管的！

正确的实验结构可以使实验成果社会化、向技术转移的。但由儒道互补文化结构决定的非受控实验却做不到，我国清初大天文学家王锡阐，常常用一般人看不懂的篆书来记录他的研究成果。他大约根本没有想止社会来重复他的实验。中国古代技术发达，“大一统”政治结构克服了古代技术某种封闭性，但实验成果向技术成果转移极为困难。张衡制造地动仪，但它并没有社会化。宋代苏颂和韩公廉制造了大型水力天文钟——水运仪象台，它差不多有现在的三层楼那么高。但它在中国没有转化为现代钟表技术。

我国三国时魏国有一名杰出的机械制造家马钧，设计出一种新式攻城武器——轮转式连续抛石机。试制这样的机械要有政府的支持才行。他的朋友，大文豪傅玄到处为他奔走游说，傅玄向安乡侯曹羲推荐这一发明。但是，因为马钧天生是个口吃，又讲不出整套的道理，所以曹羲不同意试制。傅玄又

说服曹羲把这一发明告诉了当时主持军事的曹爽，而曹爽则对此置之不理。傅玄只好大为感慨道：试验一下，本是极容易的事，可是象马钧这样天下知名的巧人尚且得不到重视，更何况那些不出名的人呢！

总之，中国古代科学实验结构完全是和儒道互补的文化结构相适应的。儒家“直观外推”的思想模式把科学实验束缚在经验之中，而科学理论中的神秘主义、伦理中心主义以及政治化倾向一方面使官方科学家看不起实验，而使民间科学家仅仅在“阴阳”、“天人感应”下指导实验，从大量奇谈怪闻中记录实验。这就使得中国古代科学实验出现了某种奇特的“极端共存”。一方面，大量实验在进行，其中很多是为了求神仙幻术，长生不老。西汉皇室贵族淮南王刘安（公元前179—前122年）及其门客就是代表！刘安是个“笃好儒学，兼占侯方术”的诸侯王，他博学多才，善为文辞，有数千宾客方术之士集聚在他门下。当时，“道术之士并会淮南，奇方异术莫不争出。”一些典籍说淮南学派里不少人有奇妙的本事，搞了不少幻术，中国古代做物理实验最多的就是他们！“铜瓮雷鸣”只是其中之一。而另一些是官方科学家，正统哲学家，他们先用直

观外推法唯物地理解自然现象，当碰到不可逾越的困难时，就拒绝实验，看不起实验。

一个极端的例子是明代理学家王阳明的“格竹子”。当时读书人以格物、致知、穷理为使命。据说，王阳明在一位钱姓朋友坐在亭子里格竹子三昼夜病倒后，他自己又去静观七天，仍一无所获有关竹子的道理，他感慨道：“天下之物如何格得？”于是，他便劝人们把眼光放在自己的内心上来，“其格物之功只能在身心上做。”这似乎是一个笑话，但真正却是一个历史的大悲剧。

当王阳明先生静坐格竹子的时候，我们想想世界正在发生什么样的变化？与王阳明（1472—1528）同时代在世的达·芬奇（1452—1519），一面在画着蒙娜丽莎的迷人微笑，一面在解剖死尸、制作各种新巧的机械。并且，他还以大师的语言宣称：“科学如果不是从实验中产生，并以一种清晰实验结束，便是毫无用处的，充满谬误的”。这不只是他一个人的声音，而是一个科学新时代的先驱者们的声音。大体与此同时，麦哲伦率领的船队完成了最早的环球航行，帕拉塞斯冲破了炼金术的牢笼而成为医化学的开山鼻祖，费希尔测定了地球的大小，而哥白尼和维萨留斯则在准备以《天体运行论》和

《人体结构》的伟大著述推出近代科学黎明期的曙光。

5·8 新的起点

现在我们可以对中国近代科学落后之谜作出某种回答了。这是因为：中国古代形成了自己独特的科学技术结构。这种结构和中国封建社会结构是十分适应的（图5·8·1）。

技术结构

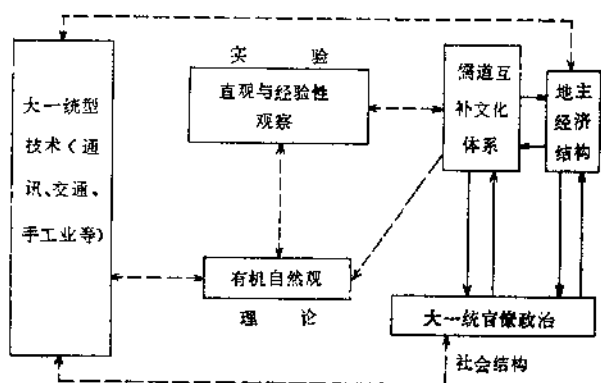


图5·8·1 中国古代社会结构与科学技术结构

我们曾经分析过中国封建社会的结构^①，它的

^① 金观涛、刘青峰：《中国封建社会的结构——一个超稳定系统》，《贵阳师范学院学报》1980年第1期、第2期。

经济结构是不同于欧洲封建领主经济的地主经济；它的政治结构是大一统的官僚政治；它的意识形态结构是儒道互补的文化体系。这三个子系统相互适应，相互调节，是中国封建社会在两千余年间赖以维系的基本构造框架。而中国古代科学技术结构正是在这一基本社会框架中形成，并与之相适应的。

中国封建社会大一统政治形态和商品经济相对发达的地主经济决定了它的技术结构是“大一统型”的。理论和实验结构则和以儒家为正统、道家为补充的文化结构相适应。儒家直观合理外推的思想方法以及伦理中心主义的哲学观使得中国古代科学理论是具有无神论与经验论倾向的有机自然观，实验相比之下格外薄弱，它是经验性的、神秘主义的和非受控的。

我们在本书中论述过，正是由于古代中国大一统技术发达，中国成为造纸、指南针、火药和活字印刷技术的发源地，具有无神论、经验论倾向的理论比起欧洲中世纪神学自然观较为先进，但是科学实验、理论、技术都深深地和中国封建社会结构相适应，它们三者基本上是互相隔裂的，它们之间不能形成相互促进的循环加速机制。这样它们只能各自独立地缓慢地进步着，甚至有趋于饱和的倾向。这

样图1·1·1的曲线得到了解释。因此，自16世纪以后，由于西方科学技术在循环加速中前进而中国日益落后于西方。

那么，就中世纪科学技术结构而论，西欧比中国更为落后，为什么近代科学技术结构又能在西方以基督教神学自然观和经院哲学为文化背景的社会中建立起来，而不能在中国看起来比西方先进的文化背景中出现呢？

我们在前几章的分析里已经表明，近代科学技术结构是一个有机的整体，它的产生和演化是和一定的社会结构的演化相一致的。近代科学技术结构的形成和发展有三个必要条件：其一是原始科学结构的种子；其二是大一统型的通讯技术；其三是社会结构的转化，特别是新的社会结构要比旧结构有更大的容量。

我们知道，原始科学结构的种子在古希腊时形成。而中世纪后期欧洲由封建社会向资本主义社会转化，推动着原始科学结构成长为近代科学结构。在这一历史过程中，中国古代的大一统通讯技术起到了传播交流的强大工具的作用。在近代科学技术结构形成的三个必要条件中，有两个条件中国封建社会都不具备。

我们在第四章说明近代科学技术结构形成需要两种动力。第一原始科学结构的模板。第二，社会结构的转化和容量。中国在两千多年前就进入大一统封建帝国，而后墨家衰亡，使原始科学结构种子没有在中国成熟。更重要的，在中国封建社会结构中，社会文化模式已经缔造了中国古代特殊的科学技术结构，这种结构在一定程度上抑制了原始科学结构种子的传入，并且闭关自守，又为此设置了重重壁垒。另一方面，也是主要的，中国封建社会是一个超稳定系统，历史进程呈现出周期性振荡，没有出现向新的社会结构的转化，而近代科学技术结构只有在社会结构转化中才能社会化。也就是说，中国封建社会的长期延续使得与其相适应的科学技术结构也长期停滞了。

中国科学技术结构的停滞和西方科学技术复杂的进化历史给我们什么启示呢？

首先它指出：科学技术结构毕竟与社会结构是不同的。近代科学技术结构的确立一方面需要一定的社会条件，但还需要其本身内部动力。因为科学技术是人类认识自然和改造自然的活动。近代科学技术结构包含着一套正确合理的认识自然改造自然的方法，以及相应的科学研究和技术的示范体系和

组织形式。没有它们，科学技术是不会加速进步的。伟大的发明即使出现，也会停滞。也就是说：什么是科学？科学就是不断进步本身，什么是进步？进步就是创造，就是人类的明天。但这一切要有一种保证，这就是近代科学技术结构。它既是人类认识自己和自然的一种科学方法，也是慢慢从蒙昧中点燃求实的创造精神火炬，它来之不易！

只要我们去追溯科学从人类古代文明的亘古的荒野中慢慢走过来的小路，我们就会感到近三、四百年来的科学技术发展道路，和人类文明相比是何等短暂。它在不同的文化背景中可以有完全不同的发展道路。科学技术在成长为巨人之前，曾经是人类文明社会中一个不被重视的孩子。她曾经在古代哲学家的花园里当过侍从，也曾为远古的祭司们捧过祭品，还曾经在宗教审判的火刑中遭受屈辱和锻炼。在中国虽然亘古而成熟的文明很早就唤醒了她，但也给她穿上了封建的紧身衣。总之，人类所犯过的一切错误都毫不留情地在科学身上打下了烙印。但是只有在错误与迷途中牢记错误，才能正确地成长起来。今天，她时时刻刻在告诫着我们：“不要只看见我美丽的外表，而忘记我的精神，”“不要只看到我不断丰富的内容，而忘记我的结

构。”只看到现在忘记历史，只看到树木，而忘记森林，只看到内容，而忘记方法和精神，这将带来一种可怕的后果：现代科学迷信！它还告诉我们，近代科学技术结构是一个有机的整体，不能让科学理论和实验依附于技术，同样不能把技术看作科学的侍从。只有存在有结构的整体，才有生命。

痛苦的教训也向人们展示了：科学结构成长主要靠示范作用，而技术形成主要靠经济动力，两者形成的规律是不同的。如果不了解这些规律，即使有良好的社会条件。科学技术的起飞仍然不可能。而且，历史证明，近代科学技术不是属于哪一个民族，哪一种文明的。没有全人类文化精华的哺育，科学就不可能壮大。但适合科学结构成长的条件却随着文化不同而不同。一般说来，一个社会的科学技术结构和社会结构是适应的，不同的社会结构有着不同的科学技术的容量。

近代科学结构之所以出现西欧封建社会向资本主义社会转化之交，这只是当时全人类所创造的科学技术精华在那里汇聚的结果。近代科学并不是资本主义所独有的产儿，而且随着近代科技进一步发展，它在资本主义文明中也会趋于自己的极限。这一切都迫使我们去思考和创造，去建立一种适应科

学技术进一步发展的朝气蓬勃的社会条件，使得社会结构也和科学本身一样，是进步的，发展的，而不是僵硬的。如果伟大的中华民族终于在痛苦的历史反省中认识了历史，在科学的研究中认识了科学，那么她将成为明天在这里接过近代科学的火炬，走向繁荣发达的新起点。